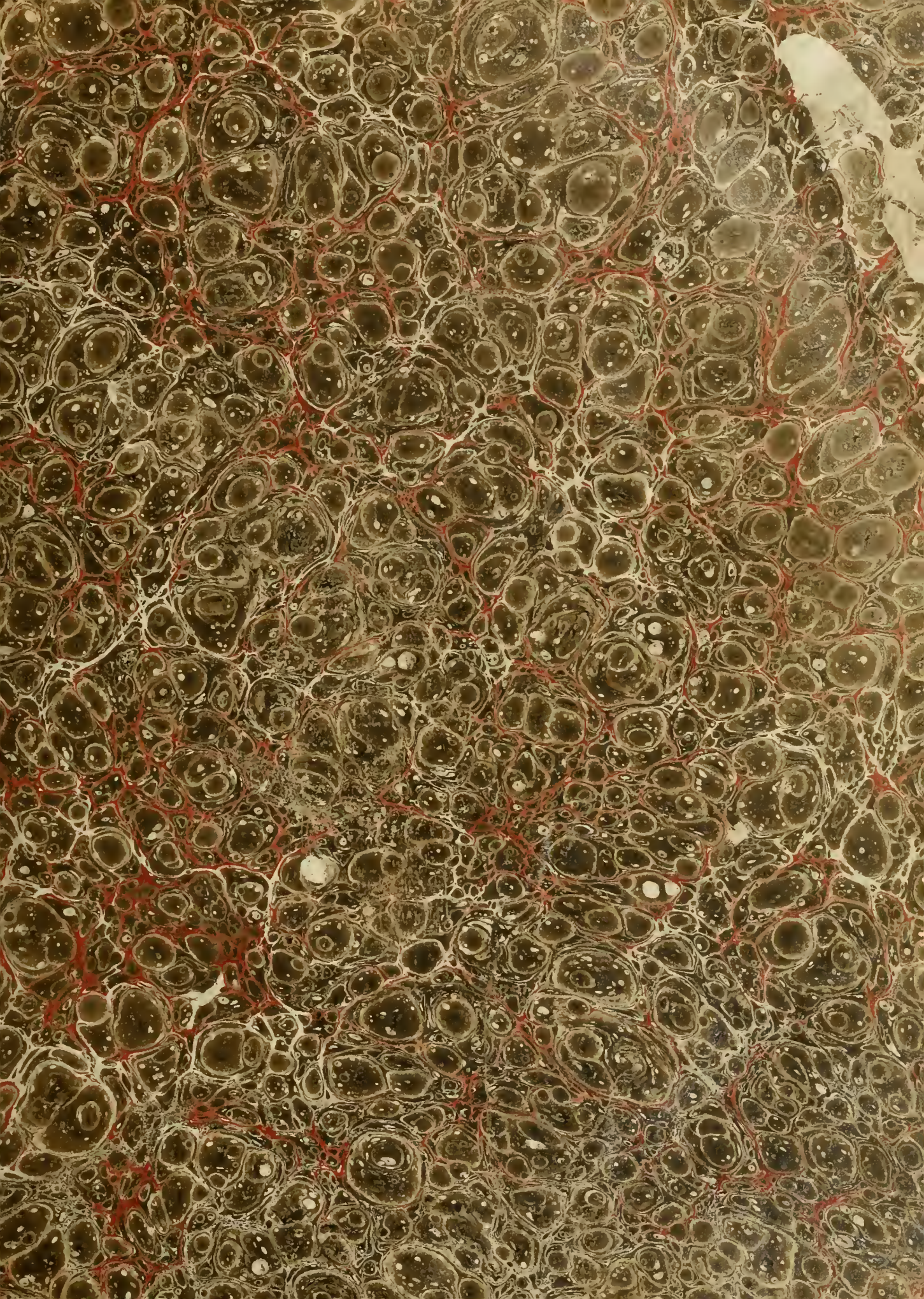

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Research Library, The Getty Research Institute

http://www.archive.org/details/traitetheoriquee04rond

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

IMPRIMERIE DE FAIN, RUE DE RACINE, PLACE DE L'ODÉON.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

PAR J. RONDELET,

Architecte; Chevalier de la Légion d'honneur; Membre de l'Institut royal de France, du Comité consultatif des Bâtimens de la Couronne; Inspecteur général et Membre du Conseil des Bâtimens Civils auprès du Ministre de l'Intérieur; Professeur de Stéréotomie à l'École spéciale d'Architecture; de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon; membre honoraire de l'Académie de Saint-Luc à Rome, et de plusieurs autres Sociétés savantes.

TOME QUATRIÈME.

PREMIÈRE PARTIE.

CHARPENTE ET COUVERTURE, AVEC 61 PLANCHES.

A PARIS

CHEZ L'AUTEUR, PLACE DU PANTHÉON.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

LIVRE SIXIÈME.

SECTION PREMIÈRE.

De la Charpente.

ARTICLE PREMIER.

Il est probable que la manière dont les hommes formèrent leurs habitations, lorsqu'ils commencèrent à se réunir en société, fut différente en raison des pays, des climats et des matériaux qui se trouvèrent à leur disposition.

Ainsi, les familles qui s'établirent près des forêts, y employèrent des troncs d'arbres et des branchages.

Les familles qui se fixèrent dans les montagnes, creusèrent des cavernes ou profitèrent de celles que la nature avait formées; d'autres cherchèrent à les imiter avec des terres et des pierres entassées les unes sur les autres.

Les premiers essais furent très-grossiers, ce ne fut qu'après bien des siècles que les hommes, réunis en sociétés plus nombreuses, parvinrent à se procurer les instrumens nécessaires pour façonner les matériaux propres à bâtir, et à donner, par ce moyen, plus de régularité à leurs habitations et à les rendre plus saines et plus commodes.

Le nombre considérable de forêts dont les pays du Nord ont toujours été couverts, peut porter à croire que la manière de bâtir en bois a été perfectionnée dans ces contrées.

Leurs habitations ne furent d'abord que des espèces de cônes couverts de feuillages, d'écorces d'arbres, de chaume, de peaux d'animaux ou de terres, comme il s'en trouve encore chez les Lapons, les Samoïèdes, et autres peuples des climats septentrionaux, *fig.* 1, *planche* XCIII. Dans la suite, pour rendre les habitations plus agréables, on parvint à distinguer le toit du corps de la cabane, en formant les murs avec des pieux plantés en terre, et réunis par le haut par des pièces de bois posées en travers.

Les intervalles entre les pieux étaient remplis par des branchages entrelacés en forme de claie, revêtus d'enduits en mortier de terre, *fig.* 2. Voici comment Vitruve s'exprime à ce sujet.

Vitruv. Lib. 2, *Cap.* 1.

Tunc observantes aliena tecta, et adjicientes suis cogitationibus res novas, efficiebant in dies meliora genera casarum.

Les plus industrieux, en examinant les habitations déjà faites, ajoutaient chaque jour de nouvelles idées pour rendre leurs maisons plus commodes.

Cùm essent autem homines imitabili docilique natura, quotidie

Les hommes étant naturellement portés à perfectionner

inventionibus gloriantes, aliis alii ostendebant ædificiorum effectus, et ita exercentes ingenia certationibus, in dies melioribus judiciis efficiebantur. Primumque furcis erectis, et virgultis interpositis luto parietes texerunt. Alii, luteas glebas arefacientes, struebant parietes, materiâ eos jugumentantes, vitandoque imbres et æstus tegebant arundinibus et fronde: postea, quoniam per hybernas tempestates tecta non poterant imbres sustinere, fastigia facientes, luto inducto, proclinatis tectis, stillicidia deducebant.

leurs ouvrages et à se glorifier de leurs succès, s'efforçaient de renchérir sur ce qui était fait, et par cette émulation, contribuaient au progrès de l'art. D'abord, après avoir élevé des troncs d'arbres fourchus, ils formèrent des murs en les réunissant avec des branchages recouverts en mortier de terre : d'autres en construisirent avec des mottes de terre qu'ils faisaient sécher. Ces murs étaient réunis avec des pièces de bois, et l'intérieur recouvert de feuillages et de joncs pour se mettre à l'abri de la chaleur et de la pluie. Cependant, comme ces couvertures étaient insuffisantes contre les intempéries et les pluies d'hiver, ils imaginèrent de les faire inclinées et enduites en mortier de terre, avec des égouts à l'extérieur, fig. 2.

Hæc autem, ex iis quæ suprà scripta sunt originibus, instituta esse, possumus sic animadvertere, quod ad hunc diem nationibus exteris ex his rebus ædificia constituuntur, ut in Gallià, Hispaniâ, Lusitaniâ, Aquitaniâ, scandulis, robusteis aut stramentis.

Ce que nous venons de dire sur l'origine des constructions en bois, se trouve confirmé par ce qui se pratique encore chez les nations étrangères, où l'on emploie ces matières à la construction des édifices, comme dans la Gaule, l'Aquitaine, l'Espagne, la Lusitanie où les toits son couverts en chaume ou en merrains.

Apud nationem Colchorum in Ponto, propter sylvarum abundantiam, arboribus perpetuis planis dextrâ ac sinistrâ in terrâ positis, spatio inter eas relicto, quanto arborum longitudines patiuntur, collocantur. In extremis partibus earum suprà, alteræ transversæ, quæ circumcludunt medium spatium habitationis, tunc insuper alternis trabibus ex quatuor partibus angulos jugumentantes, et ita parietes ex arboribus statuentes, ad perpendiculum imarum educunt ad altitudinem turres, intervallaque quæ relinquuntur propter crassitudinem materiæ, schidiis et luto obstruunt.

Chez les Colches dans le Pont, où les forêts sont abondantes, on construit les maisons avec des troncs d'arbres couchés et posés les uns sur les autres; ils commencent par en placer un à droite, l'autre à gauche, en laissant entre eux l'espace que peut permettre la longueur des autres troncs qu'ils posent en travers sur les extrémités des premiers; ces premières pièces, en se réunissant, renferment l'espace que doit contenir l'habitation. Continuant ensuite à poser des troncs de la même manière, qui se relient aux quatre angles, ils parviennent à élever des murs à plomb aussi haut que des tours; les intervalles qui restent entre les pièces de bois, à cause de leur épaisseur, sont remplis avec des éclats et de la terre détrempée, fig. 3.

Item tecta recidentes ad extremos angulos transtra trajiciunt, gradatim contrahentes. Ita ex quatuor partibus ad altitudinem educunt medio metas, quas et fronde et luto tegentes, efficiunt barbarico more testudinata turrium tecta.

Pour former les toits qui s'élèvent en pointe, ils posent d'un angle à l'autre des pièces de bois qui diminuent pour chaque rang. Opérant de cette manière pour les quatre côtés, ils forment sur le milieu de leur maison des espèces de pyramides qu'ils couvrent de feuilles et de terre détrempée, imitant d'une manière grossière

les toits en pavillon qui couvrent nos tours, *fig.* 3.

Cette manière de construire avec des pièces de bois couchées, existe encore en Russie, en Pologne, en Allemagne et dans quelques endroits de la Suisse, *fig.* 4 et 5.

Les murs sont formés de troncs d'arbres, à demi équarris, posés immédiatement les uns sur les autres sans intervalles, et assemblés à leurs extrémités, par des entailles qui les relient fortement les uns avec les autres. Les figures 6 et 7 font voir les détails de cet assemblage.

Pour garantir les bois de l'humidité, on pose les premiers rangs sur des murs de maçonnerie, élevés d'environ 2 pieds et $\frac{1}{2}$ au-dessus du sol du rez-de-chaussée ; après avoir bien garni les joints des pièces de bois avec de la mousse, on les revêtit avec des planches jointives. Les faces de plusieurs de ces maisons sont décorées à l'extérieur de corniches et de chambranles : elles sont peintes de manière à présenter les plus belles constructions en pierres de taille.

Il y a à Moscou une grande place, où l'on étale de ces maisons toutes faites, dont toutes les pièces sont numérotées, et qui peuvent se démonter et se remonter pour être transportées où l'on veut.

On voit en Pologne et en Russie des Palais, des Églises et autres édifices publics, bâtis depuis plusieurs siècles, magnifiquement décorés tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. On a construit de cette manière les fortifications de plusieurs grandes villes et beaucoup de forteresses.

Vitruvius, lib. II, Cap. IX.

De materie cædendâ et de arborum, quarumdam proprietatibus.

Materies cædenda est a primo autumno ad id tempus, quod erit antequam flare incipiat favonius. Vere enim omnes arbores fiunt prægnantes, et omnes suæ proprietatis virtutem efferunt in frondes, anniversariosque fructus. Cùm ergo inanes et humidæ temporum necessitate fuerint, vanæ fiunt et raritatibus imbecillæ. Uti etiam corpora muliebria cùm conceperint, a fœtu ad partum non indicantur integra, neque in venalibus ea, cum sunt prægnantia, præstantur sana : ideo quòd in corpore præseminatio crescens, ex omnibus cibi potestatibus detrahit alimentum in se, et quò firmior efficitur ad maturitatem partus, eò minus patitur esse solidum idipsum ex quo procreatur. Itaque edito fœtu, quod prius in aliud genus incrementi detrahebatur, cum ad disparationem procreationis est liberatum, inanibus et patentibus venis in se recipit, et lambendo succum

Extrait de Vitruve, lib. 2. Chap. IX.

Du temps où il faut couper les bois, et des propriétés de certains arbres.

Il faut couper les bois depuis les premiers jours d'automne, jusqu'au temps où le favonius commence à souffler ; car dans le printemps tous les arbres sont en travail, et toutes leurs facultés se portent à la formation des feuilles et des fruits annuels. L'humidité de la saison qui les pénètre, les dilate et les rend faibles. De même que le corps d'une femme ne passe pas pour être dans un état de bonne santé, depuis le commencement de sa grossesse, jusqu'à son accouchement. C'est pour cette raison qu'on ne garantit pas les femmes esclaves, qu'on vend dans l'état de grossesse. Parce que l'enfant, venant à se développer et à croître, attire à lui le meilleur de la nourriture, et plus il approche du terme de l'accouchement, plus il épuise la mère. Mais lorsqu'elle en est délivrée, toute la nourriture qui servait à l'accroissement d'un autre individu, se porte

etiam solidescit, et redit in pristinam naturæ firmitatem.

dans les veines épuisées, et le corps de la femme se fortifie et retourne dans son premier état de santé.

Eâdem ratione autumnali tempore maturitate fructuum, flaccescente fronde, ex terrâ recipientes radices arborum in se succum, recuperantur et restituuntur in antiquam soliditatem. At verò aëris hiberni vis comprimit et consolidat eas per id (ut suprà scriptum est) tempus. Ergo si ea ratione et eo tempore, quod suprà scriptum est, cæditur, materies erit tempestiva.

Par la même raison, lorsqu'en automne les fruits sont mûrs et que les feuilles se fanent, les arbres, retenant alors tout le suc que leurs racines tirent de la terre, reprennent leur première solidité; et comme l'air froid de l'hiver les resserre et les affermit, c'est, ainsi que nous l'avons déjà dit, le temps le plus propre pour les couper.

Cædi autem ita oportet, ut incidatur arboris crassitudo ad mediam medullam, et relinquatur, uti per eam exsiccescat stillando succus. Ita qui inest in his inutilis liquor, fluens per torulum, non patietur emori in eo saniem, nec corrumpi materiæ qualitatem. Tum autem cum sicca et sine stillis erit arbor, dejiciatur, et ita erit optima in usu.

Voici comment doit être faite la coupe des arbres : après les avoir entaillés jusqu'au milieu du tronc, on les laissera sur pied, pour faciliter l'écoulement du suc dont ils sont pénétrés. L'effusion de cette liqueur inutile qui se fait par l'aubier, garantit le bois de la corruption. Lorsqu'elle sera bien égouttée et que l'arbre sera sec, il faudra l'abattre, et il sera d'un excellent usage.

Hoc autem ita esse, licet animadvertere etiam de arbustis. Ea enim cùm suo quæque tempore ad imum perforata castrantur, profundunt e me-

On peut juger de cet effet par ce qui se pratique en certains temps dans les vergers, lorsqu'on perce la tige des arbres par le bas jusqu'à la

dullis quem habent in se superantem et vitiosum per foramina liquorem, et ita siccescendo recipiunt in se diuturnitatem.

Qui autem non habent ex arboribus exitus humores, intra concrescentes putrescunt, et efficiunt inanes eas et vitiosas. Ergo, si stantes et vivæ siccescendo non senescunt, sine dubio cum cædem ad materiem dejiciuntur, cum eâ ratione curatæ fuerint, habere poterunt magnas in ædificiis ad vestustatem utilitates.

Eæ autem inter se discrepantes et dissimiles habent virtutes, uti Robur, Ulmus, Populus, Cupressus, Abies, et cæteræ quæ maxime in ædificiis sunt idoneæ.

Namque non potest id Robur quod Abies, nec Cupressus, quod Ulmus: nec cæteræ easdem habent inter se naturæ rerum similitates: sed singula genera principiorum proprietatibus comparata, alios alii generis præstant in operibus effectus. Et primum abies aëris habens plurimum et ignis, mi-

moelle, le suc surabondant qu'ils contiennent, en s'écoulant, les rend plus durables.

Ceux au contraire qu'on ne débarrasse pas de ces humeurs superflues deviennent languissans et vicieux, parce que, venant à se corrompre, elles les font périr: d'où il résulte que, si ces précautions empêchent les arbres vivans de vieillir, on pourra être sûr qu'en les prenant pour les bois que l'on veut abattre, afin de les employer dans la construction des édifices, leur durée sera beaucoup plus considérable.

Ces bois, tels que le Chêne, l'Orme, le Peuplier, le Cyprès, le Sapin, et autres qui sont les plus en usage dans la construction des édifices, diffèrent entre eux par leur nature et leurs propriétés.

Car on ne peut pas faire avec le Chêne ce qu'on ferait avec le Sapin, ni avec le Cyprès, ce qu'on ferait avec l'Orme et autres. Quoique ces matières aient par leur nature des ressemblances, chaque espèce, considérée en raison des propriétés de ses principes, produit, en œuvre, des effets

nimumque humoris et terreni, levioribus rerum naturæ potestatibus comparata, non est ponderosa. Itaque rigore naturali contenta, non citò flectitur ab onere, sed directa permanet in contignatione. Sed ea quod habet in se plus caloris procreat et alit termitem, ab eoque vitiatur. Etiamque ideo celeriter accenditur, quodque inest in eo corpore raritas aëris patens accipit ignem, et ita vehementem ex se mittit flammam.

différens. D'abord, le Sapin, ayant plus de parties ignées que de parties aqueuses et terreuses, est nécessairement plus léger : de plus, à cause de la roideur qui lui est naturelle, il ne fléchit pas si facilement sous le fardeau, et forme des planchers qui restent droits. Mais le principe de la chaleur qu'il renferme, le rend sujet à engendrer des vers qui le rongent. La quantité d'air qu'il contient, fait qu'il prend feu très-promptement et s'enflamme avec violence.

Ex eâ autem antequam est excisa, quæ pars est proxima terræ per radices excipiens ex proximitate humorem, enodis et liquida efficitur : quæ verò est superior, vehementiâ caloris eductis in aëra per nodos ramis, præcisa alte circiter pedes XX et perdolata, propter nodationis duritiem dicitur esse fusterna.

La partie inférieure de cet arbre, avant qu'il soit coupé, est ordinairement lisse et sans nœuds, à cause de la quantité de sucs et d'humide qu'elle tire de la proximité de la terre et de ses racines. Quant à la partie supérieure qui s'élève dans l'air, elle produit, par la véhémence de sa chaleur, beaucoup de branches et de nœuds. Cette partie, coupée à la hauteur d'environ 20 pieds et replanie, est appelée, à cause de sa dureté et de ses nœuds, *fusterna*.

Ima autem, cùm excisa quadrifluviis disparatur, ejecto torulo ex eâdem arbore ad in-

La partie inférieure du tronc, après en avoir ôté l'aubier, étant coupée en quatre sens

testina opera comparatur, et sapinea vocatur.

qui produisent des veines différentes, est appelée *sapinea* : elle est réservée pour les ouvrages intérieurs.

Contra verò quercus terrenis principiorum satietatibus abundans, parumque habens humoris et aëris et ignis, cùm in terrenis operibus obruitur, infinitam habet æternitatem, ex eo quòd, cùm tangitur humore, non habens foraminum raritates, propter spissitatem non potest in corpore recipere liquorem, sed fugiens ab humore resistit, et torquetur et efficit in quibus operibus ea rimosa.

Le Chêne au contraire, contenant beaucoup de principes terreux, et peu de parties aqueuses, d'air et de feu, lorsqu'il est employé à des ouvrages cachés dans la terre, s'y conserve éternellement, parce qu'à cause de la petitesse de ses pores, et de sa densité, l'humidité ni l'eau qui le touche ne peuvent le pénétrer ; mais s'il résiste à l'humidité, lorsqu'il s'en éloigne, il se tourmente et occasionne des fentes dans les ouvrages auxquels il est employé.

Esculus verò, quòd est omnibus principiis temperata, habet in ædificiis magnas utilitates; sed ea, cùm in humore collocatur, recipiens penitus per foramina liquorem, ejecto aëre et igni, operatione humidæ potestatis vitiatur.

L'Esculus, étant composé de principes qui sont tous tempérés, est d'un meilleur usage pour les édifices : mais, lorsqu'il est placé dans l'eau, elle le pénètre fort avant en entrant dans ses pores. L'air et le feu étant rejetés par cet effet, l'humidité finit par le corrompre.

Cerrus, Suber, Fagus, quòd parvam habent mixtionem humoris et ignis et terreni, aëris plurimum, pervià raritate hu-

Le *Cerrus*, le Liège et le Hêtre dans la composition desquels il entre peu d'eau, de feu et de terre, et beaucoup d'air, sont

mores penitus recipiendo, celeriter marcescunt.

Populus alba et nigra, item Salix, Tilia, Vitex, ignis et aëris habendo satiatæ atque humoris temperatæ, parum terreni habentes leviori temperaturâ comparatæ, egregiam habere videntur in usu rigiditatem. Ergo cùm non sint duræ terreni mixtione, propter raritatem sunt candidæ, et in sculpturis commodam præstant tractabilitatem.

Alnus autem, quæ proxima fluminum ripis procreatur, et minime materies utilis videtur, habet in se egregias rationes : etenim aëre est et igni plurimo temperata, non multum terreno, humore paulò. Itaque, quia non nimis habet in corpore humoris, in palustribus locis infra fundamenta ædificiorum, palationibus crebre fixa recipiens in se quod minùs habet in corpore liquoris, perman et immortalis ad æternitatem, et sustinet immania pondera structuræ, et sine vitiis conservat. Ita quæ non potest extra terram paulum tempus durare, ea in humore obruta permanet ad diuturnitatem. Est autem maxi-

facilement pénétrés par l'eau, qui les pourrit en peu de tems.

Les Peupliers blanc et noir, de même que le Saule, le Tilleul et le *Vitex*, étant composés d'une égale quantité de feu, d'air et d'eau tempérés par une petite quantité de terre, ont une solidité suffisante pour les ouvrages légers. Le peu de terre qui entre dans leur composition, fait qu'ils sont tendres, blancs, faciles à travailler, et propres aux ouvrages de sculpture.

Quant à l'Aune, qui croît le long des rivières, dont le bois ne paraît pas être fort estimé, il renferme cependant d'excellentes qualités. Car, comme il entre dans sa composition une plus grande quantité d'air et de feu, que de terre et d'eau, le peu d'humidité qu'il contient le rend propre à former les pilotis qu'on plante près les uns des autres, pour établir les fondemens des édifices dans les endroits marécageux. Ce bois, en recevant la partie d'eau qui lui manque, se maintient sain et entier pendant une éternité; il soutient et conserve sans accidens le poids immense des constructions. Ainsi, une ma-

me id considerare Ravennæ, quòd ibi omnia opera, et publica et privata, sub fundamentis ejus generis habeant palos.

tière qui ne peut durer hors de terre que peu de tems, acquiert une très-longue durée lorsqu'elle est enfoncée dans l'eau. C'est ce que l'on remarque à Ravennes, où tous les bâtimens, tant publics que particuliers, sont établis sur des pilotis de ce genre.

Ulmus verò et Fraxinus maximos habent humores, minimùmque aëris et ignis, terreni temperatâ mixtione comparatæ : sunt in operibus cùm fabricantur lentæ, et sub pondere, propter humoris abundantiam, non habent rigorem, sed celeriter pandant, simul autem vetustate sunt aridæ factæ, aut in agro perfectæ, qui inest eis liquor stantibus, emoritur, fiuntque duriores et in commissuris et in coagmentationibus, ab lentitudine firmas recipiunt catenationes.

L'Orme et le Frêne, qui contiennent beaucoup d'eau, très-peu d'air et de feu combinés avec une moyenne quantité de terre, sont lians et faciles à travailler: mais la quantité d'eau qu'ils contiennent, fait qu'ils n'ont pas de roideur et qu'ils plient promptement sous le fardeau. Lorsqu'ils sont devenus secs, ou par le tems, ou parce qu'ils ont été purgés, avant de les abattre, de leurs parties aqueuses surabondantes, ils deviennent plus durs, et plus propres, à cause de leur qualité liante, à former des assemblages et des enchaînemens solides.

Item Carpinus, quòd est minimâ ignis et terreni mixtione, aëris autem et humoris summâ continetur temperaturâ, non est fragilis, sed habet utilissimam tractabilitatem.

Le Charme, à cause de la petite quantité de feu et de terre qu'il contient, combinés avec plus d'air et d'eau, n'est pas fragile : ce qui le rend très-propre à prendre la forme qu'on veut lui donner.

Itaque Græci, quòd ex eâ materiâ juga jumentis comparant, quòd apud eos zyga vocitantur, item et eam Zygiam appellant.

C'est pourquoi les Grecs forment de ce bois les jougs des animaux qu'ils accouplent; et, comme ils désignent ces jougs par le mot *zyga*, ils donnent à ce bois le nom de *Zygian*.

Non minùs est admirandum de Cupressu et Pinu, quòd eæ habentes humoris abundantiam, æquamque cæterorum mixtionem, propter humoris satietatem, in operibus solent esse pandæ; sed in vetustatem sine vitiis conservantur, quòd is liquor qui inest penitus in corporibus earum, habet amarum saporem, qui propter acritudinem non patitur penetrare cariem, neque eas bestiolas quæ sunt nocentes. Ideoque quæ ex his generibus opera constituuntur, permanent ad æternam diuturnitatem.

Le Pin et le Cyprès sont aussi remarquables; parce que, contenant beaucoup de parties aqueuses combinées avec une quantité égale de chacun des autres principes, lorsqu'on les met en œuvre, ils sont sujets à fléchir. Mais la liqueur amère qu'ils contiennent, est cause qu'ils se conservent toujours sains, parce que, l'âcreté de cette liqueur fait qu'ils ne sont pas sujets aux vers ni à se corrompre: en sorte que les ouvrages où l'on emploie ces espèces de bois, ont une durée infinie.

Item Cedrus et Juniperus easdem habent virtutes et utilitates, sed quemadmodum ex Cupressu et Pinu resina, sic ex cedro oleum, quod cedrium dicitur, nascitur, quo reliquæ res cùm sunt unctæ (uti etiam libri), à tineis et à carie non læduntur. Arboris autem ejus sunt similes cupresseæ foliaturæ, materies vena directa. Ephesi in æde, simulacrum Dianæ, et etiam la-

Le Cèdre et le Genévrier, ont les mêmes vertus et sont propres aux mêmes ouvrages que le Cyprès et le Pin, et, ainsi que ces derniers, produisent la résine. Le Cèdre fournit une espèce d'huile appelée *cedrium*, qui a la propriété de garantir les choses qui en sont frottées (même les livres), de la pourriture et des vers. Les feuilles de Cèdre sont semblables pour la forme à celles

cunaria ex ea, et ibi et in cæteris nobilibus fanis, propter æternitatem sunt facta. Nascuntur autem hæ arbores maximæ Cretæ et Africæ, et non nullis Syriæ regionibus.

du Cyprès, et son bois a des veines droites. A Éphèse, la statue de Diane est en Cèdre, de même que le plafond de son temple et de tous ceux qui sont les plus célèbres, à cause de la durée infinie de ce bois. Les plus beaux Cèdres viennent de la Crète et d'Afrique : on en tire aussi de Syrie.

Larix verò, qui non est notus nisi his municipibus qui sunt circa ripam fluminis Padi, et littora maris Adriatici, non solùm ob succi vehementi amaritate ab carie aut à tineâ non nocetur, sed etiam flammam ex igni non recipit, nec ipse potest per se ardere, nisi (uti saxum in fornace ad calcem coquendam) aliis lignis uratur; nec tamen tunc flammam recipit, nec carbonem remittit, sed longo spatio tarde comburitur, quòd est minima ignis et aëris è principiis temperatura. Humore autem et terreno est materia spisse solidata et non habens spatia foraminum, quâ possit ignis penetrare, rejicitque ejus vim, nec patitur ab eo sibi citò noceri, propterque pondus ab aquâ non sustinetur, sed cùm portatur, aut in navibus aut supra abiegnas rates collocatur. Ea autem materies

Le Larix n'est connu que dans les *municipes* qui sont le long des rives du Pò et des bords de la mer Adriatique. Le bois de cet arbre, à cause de la très-grande amertume de son suc, est non-seulement à l'abri de la corruption et des vers, mais il ne s'enflamme pas au feu, et ne peut pas brûler seul; il lui faut d'autres bois, comme pour la pierre dans les fours à chaux. Il ne s'enflamme ni ne produit de charbon; mais à la longue il se consume. Cette propriété lui vient de la très-petite quantité de feu et d'air qu'il contient, comparée à celle d'eau et de terre, ce qui le rend solide et compacte : en sorte que, n'ayant presque pas de pores par lesquels le feu puisse pénétrer, il résiste à sa violence, et ne lui cède qu'avec le tems. Relativement à son poids, il est

quemadmodum sit inventa, est causa cognoscere. Divus Cæsar cùm exercitum habuisset circa Alpes, imperavissetque municipiis præstare commeatus, ibique esset castellum munitum quod vocabatur Larignum, tunc qui in eo fuerunt, naturali munitione confisi, noluerunt imperio parere. Itaque imperator copias jussit admoveri. Erat autem ante ejus castelli portam turris ex hac materiâ, alternis trabibus transversis (uti pyra) inter se compositâ alte, ut posset de summo sudibus et lapidibus accedentes repellere; tunc verò cum animadversum est alia eos tela, præter sudes, non habere, neque posse longiùs à muro propter pondus jaculari, imperatum est fasciculos ex virgis alligatos et fasces ardentes ad eam munitionem accedentes mittere. Itaque celeriter milites congesserunt. Postquam flamma circa illam materiam virgas comprehendisset ad cœlum sublata, effecit opinionem, uti videretur jam tota moles concidisse. Cùm autem ea per se extincta esset et requieta, turrisque intacta apparuisset, admirans Cæsar jussit extra telorum missionem eos circumval-

tel, que l'eau ne peut pas le soutenir. On est obligé de le transporter dans des vaisseaux ou sur des radeaux faits d'autres bois. Voici comment l'on a découvert la propriété qu'il a de résister au feu. Jules César étant arrivé avec son armée auprès des Alpes, commanda aux municipes de lui apporter des vivres, mais il se trouva un château fortifié appelé *Larignum*, dont la garnison se confiant à la force naturelle du lieu, refusa de lui obéir. César ayant ordonné aux troupes de s'en approcher, on trouva, devant la porte de ce château, une tour construite en poutres de cette espèce de bois, posées en travers les unes sur les autres, (comme pour un bûcher): elle était élévée de manière qu'on pouvait du haut, avec des pieux et des pierres, repousser les assiégeans. Cependant, comme on s'aperçut qu'ils n'avaient pour armes que des traits et des pieux qui ne pouvaient pas être lancés fort loin des murs de cette tour, il fut ordonné de préparer des fagots et des torches allumées : ce que les soldats ayant exécuté très-promptement, ils les jetèrent

lari. Itaque timore coacti oppidani cùm se dedidissent, quæsitum unde essent ea ligna quæ ab igni non læderentur : tunc ei demonstraverunt eas arbores, quarum in his locis maximæ sunt copiæ, et ideo id castellum Larignum, item materies Larigna est appellata. Hæc autem per Padum Ravenam deportatur, in coloniam Fanestri, Pisauri, Anconæ, reliquisque quæ sunt in eâ regione, municipiis præbetur, cujus materiei, si esset facultas apportationibus ad Urbem, maximæ haberentur in ædificiis utilitates : et si non in omnibus, certe tabulæ in subgrundiis, circum insulas si essent ex eâ collocatæ, ab trajectionibus incendiorum ædificia periculo liberarentur, quòd eæ nec flammam nec carbonem possunt recipere nec facere per se. Sunt autem eæ arbores foliis similibus Pini, materies earum prolixa, tractabilis ad intestinum opus, nec minùs quàm sapinea : habetque resinam liquidam mellis attici colore, quæ etiam medetur phthisicis.

au pied de la tour et y mirent le feu. La flamme qui parut s'élever jusqu'au ciel, fit croire que la tour allait être consumée; mais César fut fort étonné, lorsque, le feu s'etant éteint de lui-même, il vit paraître la tour intacte ; alors il ordonna de former autour une tranchée hors de la portée du trait : mais ceux qui défendaient le château, craignant de se voir forcés, se rendirent. Lorsqu'on leur demanda quelle était cette espèce de bois qui résistait au feu, il montrèrent ces arbres, qui se trouvaient en grande quantité dans les environs, et qui étaient fort élévés. C'est ce qui avait fait donner à ce château le nom de Larignum, de celui de cette espèce de bois appelé *Larix*. On le transporte par le Pô à Ravennes, à la colonie de Fanestre, à Pisaure, à Ancône et autres villes de cette province. S'il était possible de transporter cette espèce de bois à Rome, il y serait d'une très-grande utilité, sinon pour toutes sortes d'ouvrages, du moins pour les planches qui soutientent les égouts avancés autour des îles de maisons; car, s'ils étaient formés de ce bois, ils

empêcheraient la communication des incendies d'un édifice à l'autre, puisqu'il ne peut ni s'enflammer ni se réduire en charbon par lui-même. Aureste, cette espèce d'arbre a des feuilles semblables à celles du sapin : son bois est très-beau, facile à travailler, et aussi propre pour les ouvrages intérieurs, que celui ci-devant désigné sous le nom de *sapinea*. Il produit une résine liquide de la couleur du miel attique, qu'on croit propre à guérir la phthisie.

De singulis generibus, quibus proprietatibus è natura rerum videantur esse comparatæ, quibusque procreentur rationibus, exposui. Insequitur animadversio, quid ita, quòd quæ in Urbe *supernas* dicitur Abies, deterior est, quàm quæ *infernas*, quæ egregios in ædiciis ad diuturnitatem præstat usus; et de his rebus, quemadmodum videantur è locorum proprietatibus habere vitia aut virtutes, uti sint considerantibus apertiora, exponam.

Après avoir traité dans ce chapitre des différentes espèces d'arbres, des propriétés qu'ils paraissent avoir d'après la nature des choses et les principes dont ils sont composés, il nous reste à expliquer pourquoi les Sapins désignés à Rome sous le nom de *supernas*, sont d'une plus mauvaise qualité que ceux appelés *infernas*, qu'on préfère dans la construction des édifices, à cause de leur durée, et à faire voir que ces propriétés dépendent des bonnes ou mauvaises qualités du sol où ils croissent.

De Abiete supernate et infernate cum Apennini descriptione. Cap. X. lib. II.

Montis Apennini primæ radices, ab Tyrrheno mari in Alpes et in extremas Hetruriæ regiones oriuntur. Ejus verò montis jugum se circumagens, et media curvatura prope tangens oras maris Adriatici, pertingit circuitionibus contra fretum. Itaque citerior ejus curvatura, quæ vergit ad Hetruriæ Campaniæque regiones, apricis est potestatibus; namque impetus habet perpetuos à solis cursu.

Ulterior autem, quæ est proclinata ad superum mare, septentrionali regioni subjecta, continetur umbrosis et opacis perpetuitatibus. Itaque quæ in eâ parte nascuntur arbores, humidâ potestate nutritæ non solùm ipsæ augentur amplissimis magnitudinibus, sed earum quoque venæ humoris copiâ repletæ turgentes liquoris abundantiâ saturantur. Cùm autem excisæ et dolatæ vitalem potestatem amiserint, venarum rigorem permutantes siccescendo, propter raritatem, fiunt inanes et evanidæ, ideoque in ædificiis

Des sapins appelés supernas *et* Infernas, *avec une description de l'Apennin.*

Les monts Apennins prennent leur origine dans les Alpes, aux extrémités de l'Étrurie; de là le sommet de cette chaîne de montagnes va en tournant jusqu'au détroit; le milieu de la courbure touche presque les bords de la mer Adriatique. C'est pourquoi la partie inférieure de cette courbure étant tournée vers les régions de l'Étrurie et de la Campanie, est perpétuellement exposée au rayons du soleil.

Mais la partie extérieure, dont la pente est inclinée vers la mer supérieure, étant tournée vers le nord, se trouve perpétuellement couverte et ombragée. Il en résulte que les arbres qui naissent dans ces régions humides, ont un accroissement beaucoup plus considérable; mais comme leurs veines sont remplies et gonflées d'une quantité de sucs surabondans, il arrive que, lorsqu'ils sont coupés et travaillés, ayant perdu la puissance vitale qui entretenait leurs fibres dans un état de vigueur, ils deviennent,

non possunt habere diuturnitatem.

en séchant, lâches et poreux, en sorte qu'étant employés dans les édifices, ils ne peuvent pas avoir une longue durée.

Quæ autem ad solis cursus spectantibus locis procreantur, non habentes interveniorum raritates siccitatibus exsuctæ solidantur : quia sol non modò ex terrâ lambendo, sed etiam ex arboribus educit humores. Itaque quæ sunt in apricis regionibus spissis venarum crebritatibus solidatæ, non habentes ex humore raritatem, cùm in materiam perdolantur, reddunt magnas utilitates ad vestustatem. Ideò infernates, quæ ex apricis locis apportantur, meliores sunt, quàm quæ ab opacis, de supernatibus advehuntur.

Mais les arbres qui croissent dans les lieux exposés aux rayons du soleil, étant moins humides, et ayant les intervalles de leurs fibres plus rapprochés, sont plus fermes, parce que le soleil pompe non-seulement l'humidité de la terre, mais encore celle des arbres. C'est pourquoi ceux qui sont dans les pays découverts, ayant leur texture plus compacte, ne deviennent pas si poreux, en perdant leur humidité; lorsque leur bois est façonné, il est d'un fort bon usage et dure long-temps. C'est pour cette raison que les Sapins appelés *infernates*, qui nous sont apportés des lieux découverts, sont meilleurs que les *supernates*, qui viennent de ceux qui sont couverts.

Strabon parlant de la Toscane ou Étrurie, dit qu'on envoyait de ce pays à Rome des pièces de bois fort droites et très-grandes, pour la construction des édifices. Dès qu'elles étaient coupées, on les faisait flotter dans l'eau jusqu'à la mer, d'où on les conduisait à Rome en remontant le Tibre. Ces grandes pièces de bois paraissent être le Sapin, que Vitruve désigne par le mot *infernates*. Au reste, le Sapin est encore le bois le

plus généralement employé pour la construction des édifices. Les charpentes d'un très-grand nombre d'anciens édifices de France, d'Italie, d'Espagne, d'Angleterre et d'Allemagne, prouvent que ce bois se conserve aussi long-temps que le Chêne, dans quelque climat qu'il se trouve.

M. Duhamel parle d'un pilotis de bois de Sapin trouvé dans les fondations d'une ancienne église, tombée de vétusté et démolie depuis 80 ans. Ce pilotis, qui avait plusieurs siècles, n'avait que l'extérieur un peu rongé : le milieu était parfaitement sain, et avait encore la couleur et l'odeur de résine.

OBSERVATIONS.

Dans tout ce que contient ce chapitre, il n'y a d'utile que ce qui paraît être le résultat de l'expérience; par exemple, ce que dit Vitruve relativement au tems et à la manière d'abattre les arbres, afin de rendre leurs bois plus forts et plus durables, et sur quelques propriétés de ceux qui étaient le plus en usage de son temps.

Quant aux raisonnemens qu'il fait pour expliquer les causes des qualités et des propriétés de ces différens arbres, ils ne sont fondés que sur les opinions des philosophes les plus accrédités de son siècle, tels que Pythagore, Empédocle, Épicharmes et autres, qui prétendaient que toutes les productions de la nature étaient formées de la combinaison de quatre principes ou élémens, savoir : l'air, le feu, l'eau et la terre, et que leurs variétés, leurs qualités et leurs propriétés dépendaient des proportions selon lesquelles ces principes étaient combinés.

Les progrès considérables que les sciences ont faits depuis le tems où Vitruve écrivait, ne permettent plus d'y avoir égard, si ce n'est pour juger de nos connaissances acquises.

Le tems que Vitruve prescrit pour la coupe des bois, est encore celui qui a été reconnu le plus convenable, c'est-à-dire, depuis le mois d'octobre jusqu'au mois de février.

On convient encore que le moyen d'entailler les arbres par le bas pour faire écouler la sève qu'ils contiennent, est nécessaire pour éviter que leur bois ne se corrompe par la fermentation de ce suc, lorsqu'ils sont employés trop tôt.

Pour mieux faire sentir la nécessité de ce moyen, nous allons indiquer en peu de mots la manière dont le bois se forme, d'après les observations des plus savants naturalistes, tels que Grew, Malpighi, Halles, Duhamel et Buffon.

Une semence d'arbre quelconque que l'on plante en terre au printems, par exemple un gland, produit, au bout de quelques semaines, un petit jet tendre et herbacé, qui s'étend, grossit et durcit, contenant, au bout de la première année, un filet de substance ligneuse terminé par un bouton. De ce bouton, qui s'épanouit au commencement de l'année suivante, sort un second jet semblable à celui de la première année, mais plus vigoureux, et qui s'étend davantage. Il produit un autre bouton qui contient le jet de la troisième année, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'arbre soit parvenu à sa hauteur. Chacun de ces boutons est une espèce de germe, qui contient l'accroissement de chaque année :

de sorte qu'un arbre de cent pieds est formé par des accroissemens successifs, dont le plus grand ne passe pas deux pieds.

Les accroissemens qui forment le cœur de l'arbre dans sa maturité, conservant toujours les mêmes dimensions, ils existent dans un arbre de cent ans, sans avoir grossi ni grandi, ils sont seulement devenus plus solides. Dans un arbre fendu dans le milieu dans toute sa longueur, on remarque, vers le cœur, des étranglemens qui désignent les accroissemens, en hauteur, de chaque année, de même que les cercles de la base marquent les accroissemens de grosseur.

Le bouton qui vient au sommet du premier accroissement tire sa substance par les canaux ou fibres de ce petit arbre. Ces principaux canaux, qui servent à conduire la séve, se trouvent entre l'écorce et la couche ligneuse, produit de chaque année.

La sève, en montant, forme elle-même les fibres qui lui servent de conduit, ce qui donne chaque année une couche de plus autour de la circonférence de l'arbre, à sa partie inférieure; arrivée au bouton, elle forme en outre un ou plusieurs rejetons, qui forment l'accroissement en hauteur de l'année. Ainsi, dès la seconde année, un arbre contient déjà, dans son milieu, un filet ligneux, qui est la production de la première, et une couche ligneuse, enveloppe de ce premier filet, et de plus le filet ligneux, accroissement de la seconde année. A la troisième, il se forme une nouvelle couche ligneuse, qui enveloppe celle de l'année précédente, et en outre un filet ligneux, qui est la crue en hauteur de la troisième année. Il en est de même des accroissemens successifs.

Chacun forme un cône creux fort allongé, qui recouvre les productions ligneuses des années précédentes, et forme au-dessus un ou plusieurs rejetons, qui augmentent la hauteur et produisent des branches.

Les cercles que l'on distingue sur la coupe transversale des arbres qu'on a abattus, sont les bases de chacun de ces cônes. On remarque dans les bois résineux, tels que le pin, le sapin, le mélèse etc., que la partie qui sépare chaque cercle est composée d'une matière plus tendre et plus spongieuse. Dans certain bois, la matière interposée entre les couches ligneuses, a les pores plus ouverts, comme dans l'Orme, le Frêne, le Châtaignier et le Chêne. Dans d'autres arbres, la texture est si uniforme et compacte, qu'à peine on distingue les cercles qui forment l'accroissement en grosseur de chaque année. Tels sont le Charme, l'Érable, le Hêtre, le Peuplier, le Saule, l'Aune, le Bouleau, etc. Il en est de même de presque tous les arbres à fruit, comme le Citronnier, l'Oranger, le Cormier, le Prunier, le Poirier, le Pommier, etc.; ainsi que des bois durs, comme le bois de Fer, l'Ébène, le Buis, le Gayac, le Cornouiller, etc.

Relativement à la manière d'abattre les arbres, on a trouvé que les entailles proposées par Vitruve, qui réduisent le tronc de l'arbre à un pivot, l'exposent à être renversé par les moindres vents avant d'être sec; à s'éclater, à se briser et à entraîner par sa chute ceux qui sont proches. On a encore reconnu que l'humeur aqueuse et roussâtre qui découle du tronc de l'arbre, pénètre la souche et la fait mourir.

M. de Buffon a proposé un moyen qui produit le même effet que celui de Vitruve, sans exposer les arbres à

être renversés par le vent : c'est d'écorcer l'arbre sur pied ; ce moyen, qu'on prétend être pratiqué depuis long-temps en Angleterre, augmente beaucoup la densité, la force et la dureté du bois, et procure à l'aubier une consistance presque égale à celle du cœur de l'arbre.

Il résulte des expériences de MM. de Buffon et Duhamel, que le tems le plus propre à écorcer les arbres qu'on destine pour la charpente, est au mois de mai, où la sève est dans toute sa force, pour les abattre à la fin d'octobre. Cette opération entraîne, comme celle de Vitruve, la perte de la souche. Ces savans en conviennent ; mais ils prétendent que les souches en général ne sont pas bonnes à conserver, et que le bois venu de semis est toujours plus beau, plus fort et plus robuste, que celui qui vient de souche.

J'ai vu pratiquer par un riche propriétaire, fort instruit, un moyen qui me paraît devoir réunir les avantages des deux autres, sans en avoir les inconvéniens. Il faisait abattre les bois destinés pour la charpente à l'ordinaire, et après les avoir fait équarrir encore frais, il les plaçait debout, sous des hangars disposés de manière à les entretenir isolés les uns des autres, par le moyen de fortes traverses contre lesquelles ils étaient appuyés. Par cette disposition verticale, les sucs dont les bois fraîchement abattus étaient pénétrés, s'écoulaient naturellement sans occasionner aucune fente ni gerçures, et au bout d'une année, ils avaient acquis le degré de sécheresse convenable pour être employés à la charpente. Après avoir fait un choix de ceux propres à la menuiserie, on les faisait débiter et arranger de même, pour être vendus ou employés l'année suivante.

ARTICLE II.

Des différentes espèces d'arbres propres à la construction des édifices.

Les différentes espèces de Chênes désignés par Vitruve sont : le *Robur*, le *Quercus*, l'*Esculus*, le *Cerrus*, le *Suber* et le *Fagus*.

1. Le *Robur* est une espèce de chêne branchu qui ne croît pas aussi haut que les autres : son bois est fort dur, liant et difficile à travailler ; il n'est propre que pour les ouvrages rustiques, qui ne demandent que la solidité. Plusieurs auteurs prétendent que c'est l'espèce que nous appelons *Rouvre*, que les Grecs désignent par *Drys*.

2. Le *Quercus*, appelé par les Grecs *Etumodrys*, est le Chêne proprement dit : il croît plus haut que le *Robur* ; son bois, quoique très-dur, est moins rustique et se travaille mieux. C'est celui qui convient le mieux pour les grandes pièces de charpente, telles que les poutres.

3. L'*Esculus*, dont le nom indique, ainsi que le mot grec *Phegos*, une espèce de Chêne, dont le gland est bon à manger, a son bois moins dur que le grand Chêne, et plus facile à travailler ; mais il ne vaut rien dans l'eau, où il se pourit en peu de temps.

4. Le *Cerrus* est une espèce particulière de chêne, que les Italiens appellent *Cerro*. Il croît assez haut et fort droit, son bois ressemble à celui du Liége, mais il est moins dur. Scamozzi, parlant de cette espèce d'arbre, dit :

Il Cerro ò Sovero è albero ghiandifero, e quasi simile all' Elice e parimente tiene le	Le *Cerro* ou *Sovero* est un arbre produisant des glands ; presque semblable à l'*Esculus*, et

sue foglie il verno; ma eccede di grandezza al legno del Sovero (come dice Plinio): si conserva molto dalla vecchiezza; ha il scorzo grossissimo, del quale per la sua leggierezza sene fanno le pianelle, e si taglia facilemente. A' tempi andati ne era pieno il bosco di Baccano presso à Roma, e là in que' d'intorni. Un' altra sorte ne è in quello di Pisa, e anco nella Toscana, che chiamano Cerio Sugero, perche assimiglia al Cerio. Non pochi allignano ne' monti di Arrezzo, e molto maggiori in Sicilia, dei quali si conducono frequentemente i loro scorzi quì in Venetia.

Idea dell' architettura universale, parte seconda, libro settimo, cap. XXIV, faccia 245.

qui conserve de même ses feuilles pendant l'hiver : mais il surpasse (comme le dit Pline) le Liége en grandeur, et se conserve jusqu'à une extrême vieillesse : il a une écorce très-épaisse qui se taille facilement; on en fait, à cause de sa légèreté, des semelles de pantoufles. Autrefois les bois et les environs de Baccano, près de Rome, en étaient remplis. On trouve des Liéges d'une espèce particulière dans la Toscane et dans les environs de Pise, qu'on appelle *Cerro Sugero*, à cause de leur ressemblance avec le *Cerro*. Il en croît dans les montagnes d'Arezzo, et encore plus en Sicile, dont l'écorce se transporte en grande partie à Venise.

5. Le *Suber* ou Liége est plus connu par l'usage qu'on fait de son écorce, que par son bois, qui est plus ferme et plus pesant que le bois de chêne.

6. Le *Fagus* ou Hêtre, que Pline comprend dans les treize espèces d'arbres qui produisent du gland, est un des plus beaux et des plus grands arbres de nos forêts. Son bois est plein et dur, propre à la charpente, à la menuiserie et à une infinité d'ouvrages; mais il est sujet aux vers. On ne parvient à l'en garantir qu'en le purgeant entièrement de sa séve, par les méthodes que nous avons ci-devant indiquées, ou en le faisant tremper quelque temps dans l'eau, et l'exposant ensuite à la fumée. Lorqu'il

est bien sec, il est plus sujet à se fendre et à se rompre que le Chêne.

7. Les différentes espèces de peupliers s'emploient dans la construction des bâtimens. Les Peupliers blancs, surtout ceux de Lombardie, dont le bois est le plus dur et le plus droit, sont propres à la charpente : les autres se débitent en planches et en voliges.

8. Les Saules qu'on laisse venir en futaie sans les étêter, peuvent être employés aux mêmes usages. Leur bois est plus dur, plus pesant et plus facile à travailler : sa couleur et sa texture approchent de celles du Hêtre.

9. Le Tilleul est un bel arbre qui fait l'ornement des parcs, et qui se trouve naturellement dans les forêts : il parvient quelquefois à une grosseur prodigieuse. Évelin et Thomas parlent de deux Tilleuls d'Angleterre, dont le tronc avait 48 pieds de circonférence, près de 16 pieds de diamètre. Le fameux Tilleul de Wirtemberg avait 9 pieds de diamètre. Miller dit en avoir vu dont le tronc avait 30 pieds de tour, ou 10 pieds de diamètre. Leur grosseur ordinaire est de 2 et 3 pieds de diamètre.

Le bois de Tilleul est blanc, plein et léger, mais liant et facile à travailler. Les menuisiers, les ébénistes, les sculpteurs, les tourneurs et les charrons en font usage.

10. Le *Vitex* ou *Agnus Castus* est un arbrisseau fort joli, plus propre à orner les bosquets qu'à fournir du bois utile à la construction.

11. La propriété que le bois d'Aune a de se conserver dans l'eau, fait qu'on l'emploie pour les pilotis : on en fait des tuyaux pour conduire les eaux : les écoperches des maçons sont de ce bois. Comme il a la texture fine et serrée et d'une belle couleur, et qu'il se travaille bien, il

peut être employé pour des meubles, des ouvrages de menuiserie et de tour.

12. L'Orme est un des grands arbres qui croissent dans nos climats : son bois est plein, ferme et liant, souvent rustique, difficile à travailler, et sujet à se tourmenter : c'est pourquoi on en fait peu d'usage pour la charpente, on ne s'en sert que pour le charronnage. Il s'en trouve cependant une espèce à larges feuilles, dont le bois est plus tendre, le fil plus droit, et presque aussi doux que le Noyer. Celui appelé Orme tortillard n'est propre qu'à faire des moyeux de roues.

13. Le Frêne est un grand arbre dont le tronc est fort droit : son bois est ferme et liant. Il est d'abord tendre, flexible, et facile à travailler; mais, avec le temps, il devient roide et fort dur. On l'emploie rarement pour les ouvrages de charpente ; on le réserve pour l'artillerie et le charronnage, pour des échelles légères, des bâtons tournés, des manches d'outils, des chaises et autres ouvrages qui demandent de la légèreté et de la fermeté.

14. Le Charme est un arbre fort commun dans les forêts : il n'a pas beaucoup d'apparence, et vient rarement d'une bonne grosseur. Son tronc est court, mal proportionné : son bois, qui est blanc, est très-dur et compacte; on n'en fait usage ni pour la charpente, ni pour la menuiserie, parce qu'il est difficile à travailler; mais, comme il est liant, il est fort bon pour le charronnage et les ouvrages de tour.

15. Le Pin est un arbre résineux dont il se trouve plusieurs espèces; la plupart sont de grands arbres garnis de branches rangées par étages autour du tronc. A mesure que cet arbre croît, les branches les plus

basses sèchent, tombent, et laissent à leur place des nœuds, qui ne semblent tenir au tronc que comme des chevilles ou tenons pour soutenir les branches.

Cette espèce d'arbre croît beaucoup plus vite que le Chêne ; à 60 ans, il est parvenu à son dernier degré de croissance, tandis qu'il faut 150 ans pour le chêne. Il peut fournir de la résine depuis l'âge de 25 ans ; de sorte qu'après en avoir tiré un profit annuel pendant 15 à 20 ans, cet arbre peut encore fournir du bois de charpente d'un bon service, parce qu'on prétend que l'extraction du suc résineux n'altère pas sa qualité, lorsqu'on a soin de ménager l'arbre. On fait avec le pin des mâts, des bordages pour les vaisseaux, des madriers, des planches pour la menuiserie, des tuyaux pour conduire les eaux, des corps de pompes, etc.

16. Le Cyprès est un grand arbre, toujours vert, dont le tronc est fort droit : son bois est plus dur que celui du pin, d'un rouge pâle ou d'un jaune rougeâtre, avec des veines foncées et d'une odeur agréable. Ce bois est également propre à la charpente et à la menuiserie : il n'est pas sujet aux vers, et se conserve si bien, qu'il passe pour être incorruptible. C'est pourquoi les anciens faisaient avec ce bois les statues de leurs dieux. Les portes du temple de Diane à Éphèse, qui avaient été faites de ce bois, paraissaient encore neuves au bout de 400 ans. On rapporte que celles de Saint Pierre de Rome, tirées de l'ancienne basilique de Constantin, avaient duré 550 ans, lorsque le pape Eugène IV les fit remplacer par des portes de bronze : le bois était encore sain.

Les caisses dans lesquelles on renfermait les momies

d'Égypte, étaient de Cyprès. Ce bois résiste mieux aux intempéries de l'air que le Cèdre. M. Duhamel parle d'une melonnière dont l'enceinte était formée par des poteaux de Cyprès qui, au bout de 25 ans, étaient encore très-sains.

Scamozzi, dans son ouvrage intitulé *l'Idea dell' architettura universale*, parle d'un Cyprès d'une grandeur prodigieuse, dont à peine trois hommes pouvaient embrasser le tronc. Lui-même dit avoir vu à Venise une pièce de bois, dont la largeur était de 4 pieds, très-saine et très-belle, dont on avait tiré des tables octogones et rondes d'une seule pièce. Il estime que le tronc d'où cette pièce était tirée, devait avoir plus de 13 pieds de circonférence.

17. Le bois de Cèdre est un des meilleurs, des plus beaux, des plus grands et des plus durables qu'on puisse employer, tant pour la charpente que pour la menuiserie. Il est rougeâtre, veiné et odoriférant, se travaille bien. Les anciens l'employaient pour la charpente de leurs temples, et pour les lambris et plafonds dont ils étaient décorés. On sait que Salomon fit usage, pour la construction du superbe temple qu'il fit bâtir, des Cèdres du Liban, que le roi de Tyr lui envoya.

La charpente et le plafond du fameux temple d'Éphèse étaient formés de ce bois. Pline dit que les poutres du temple d'Apollon à Utique, qui étaient de Cèdre de Numidie, existaient depuis onze cent soixante-dix-huit ans. Il parle d'une pièce de ce bois, que Démétrius Poliorcète avait fait venir de l'île de Chypre pour une galère à onze rangs de rames ; sa longueur était de cent trente pieds, sur 16 pieds de tour.

18. Les Genèvriers sont de deux espèces : l'une n'est qu'un arbrisseau qui ne s'élève qu'à 5 à 6 pieds, et l'autre un arbre dont la hauteur est d'environ 30 pieds; son bois dont la couleur est rougeâtre, est assez dur, compacte et odorant; il paraît être une espèce de Cèdre et en a les propriétés. Comme son tronc ne devient pas fort gros, on n'en fait pas usage pour la charpente; mais on en fait des boiseries et des meubles précieux. Cependant Pline raconte que les poutres d'un ancien temple de Diane, à Sagonte en Espagne, étaient de ce bois, et que ce temple dont l'antiquité remontait à plus de 200 ans avant la guerre de Troie, fut respecté par Annibal.

Du Larix.

19. Le Larix est un arbre peu connu en France, où on le confond avec le Mélèze. D'après ceux que j'ai vus en Italie, et les recherches que j'ai faites sur cette espèce d'arbre, dans l'État de Venise où il est le plus employé, il paraît que cet arbre est une espèce de Sapin qui croît dans la partie des Alpes et des montagnes qui séparaient l'Allemagne de l'État de Venise. Scamozzi, célèbre architecte vénitien, qui avait parcouru ces pays, dit qu'il y a vu des Larix d'une hauteur et grosseur démesurée, et d'une grande beauté; il ne croyait pas que dans aucune autre province d'Italie, on pût en trouver une aussi grande quantité. Cet architecte avait eu occasion d'en faire beaucoup d'usage dans le grand nombre d'édifices qu'il a fait construire, et entre autres, pour les magnifiques bâtimens des Procuraties, à la place de Saint-Marc de Venise.

Dans le même chapitre, Scamozzi ajoute :

Si vede, che anticamente (come oggidì) si ritrovavano abondantissimi i Larici nella Rhetia, o paese' de' Grigioni Alpini; poiche (come dice Plinio) Tiberio imperatore fece tagliare in quelle montagne i Larici, che furono addoperati per rifare il ponte della sua naumachia, onde è forza, che andassero giù per il Pò, et dopò fussero navicati per il mare Adriatico e Ionio e Thirreno, e finalmente condotti per il Tevere à Roma. (Scamozzi, tom. II, page 243.)

On voit qu'anciennement on trouvait une quantité abondante de Larix dans la Rhétie ou le pays des Grisons Alpins, puisque (comme le dit Pline) l'empereur Tibère fit abattre dans ces montagnes les Larix, qui furent employés pour refaire le pont de sa naumachie. Il est probable qu'on les fit descendre par le Pò, et que de là on les conduisit par les mers Adriatique, Ionienne et Thyrrène, et finalement à Rome par le Tibre.

Pline parle d'une de ces pièces de bois qui avait 120 pieds de long, et deux pieds de grosseur dans toute son étendue. On peut juger, d'après cette pièce, de quelle grandeur devait être l'arbre dont elle avait été tirée.

Voici la description que Scamozzi donne de cette espèce d'arbre.

Scamozzi, Lib. VII, Cap. XXV. page 246.

Il Larice è albero grandissimo, di bella altezza : con i rami ordinati à gradi, e piegano à terra; hà la scorza scabrosa, e le foglie, come à fiocchi sottili e lunghe. Il suo legno, è grasso e alquanto pingue, onde arde contra l'opinione di Vitruvio, e

Le Larix est un très-grand arbre, et d'une belle hauteur : ses branches sont disposées par étages, et plient vers la terre. Son écorce est raboteuse, et les feuilles sont comme des brins longs et menus disposés par houppes. Son bois est lourd

Plinio ; benche non cosi facilmente; però il Mantouano disse : *et robusta Larix igni impenetrabile lignum.* Ha le vene distese, e di sostanza, e nervo dure; e però riesce mirabilmente per far le travamente, e i coperti, e tavole per le porte, e fenestre ad uso delle fabriche; oltre c'hà un color rosso melato, e resiste a' tarli, e alla vechiaia; egli ama il montee luoghi freddi. Abunda nelle nostre montagne, e del Trentino, Valcamonica, et tutto oltre, e parimente di là dà monti; tagliate le sue cime egli se ne muore a fatto; tutto che sia di longa vita.

et un peu gras, ce qui fait qu'il brûle (contre l'opinion de Vitruve et de Pline) quoique difficilement. C'est pourquoi Virgile dit : *Le robuste Larix, dont le bois est impénétrable au feu.* Il a des veines étendues dont la substance et le nerf sont également durs, et, par cette raison, il est d'un très-bon usage pour la charpente des planchers et des toits, et pour la menuiserie des portes et fenêtres des édifices. Indépendamment de sa couleur rousse de miel, il n'est pas sujet aux vers et ne vieillit pas. Cet arbre se plaît dans les montagnes et les pays froids; on en trouve beaucoup ; dans celles du Trentin et de Valcamonica, ainsi qu'au-delà de ces montagnes. Il faut remarquer, que, quoiqu'il soit de longue durée, il meurt tout à fait lorsqu'on coupe sa cime.

Les montagnards ont observé que les Larix, les Sapins, les *Picea* et les Hêtres, parviennent à leur plus grande hauteur au bout de trente ans, et qu'après ce tems, ils ne font que grossir.

Enfin Scamozzi, après avoir parlé de tous les autres bois qui croissent en Italie, finit par dire : nous pensons que le Larix est le meilleur et le plus utile de tous nos

bois, pour la construction des édifices, parce qu'il est d'une nature forte et nerveuse, capable de soutenir de grands fardeaux ; la force et la beauté de son bois, le rendent également propre aux ouvrages de charpente et de menuiserie.

20. Le Sapin, appelé en latin *Abies*, à cause de la blancheur de son bois, est un des plus beaux arbres résineux qui croissent ordinairement sur les hautes montagnes, telles que les Alpes, les Pyrénées et les Vosges. Son tronc est fort droit et très-élevé, revêtu d'une écorce unie, blanchâtre, et comme cendrée ; il se termine par la pousse de la dernière séve, parce qu'à chaque pousse il s'élève d'une branche verticale ; il en paraît en même tems trois ou quatre, qui s'étendent presque horizontalement, en sorte qu'il est garni de branches tout autour, disposées par étages et formant ensemble une pyramide assez régulière. Ces branches sont garnies de petites feuilles étroites, échancrées par le bout, assez souples et blanchâtres en dessous, rangées sur un même plan aux deux côtés d'un filet ligneux, comme les dents d'un peigne. Le même arbre porte des fleurs mâles et femelles ; ses fruits sont oblongs, et tournés vers le haut, composés d'écailles dans lesquelles on trouve des noyaux durs, osseux, qui renferment des semences huileuses. Les fruits du Sapin sont mûrs vers la fin de l'automne.

La texture de son bois n'est pas uniforme ; les cônes concentriques dont il est formé, sont séparés par des parties plus tendres et spongieuses : en sorte qu'on peut dire, que chaque cône concentrique porte son aubier. Il résulte de cette organisation, que ce bois, étant

équarri ou débité en planches, présente des veines longitudinales, formées par les parties dures qui sont plus colorées. Ces veines sont d'autant plus larges, que les cônes sont coupés plus obliquement. C'est probablement ce que Vitruve a voulu dire par le mot *quadrifluviis*, à cause des larges veines et des ondulations que présentent quelquefois les planches de Sapin, et qu'on cherche à imiter actuellement dans la peinture des lambris de menuiserie. Ce bois, qui est léger, tendre et facile à travailler, est également propre aux ouvrages de charpente et de menuiserie ; on en fait encore usage pour la construction des bateaux, et de toutes sortes de bâtimens de mer.

Il se débite en poutres, solives, chevrons, madriers et planches.

Pline parle d'un Sapin d'une grandeur prodigieuse, qui formait le mât du navire que Caïus Caligula fit construire pour amener d'Égypte le grand obélisque de granite qu'il fit dresser au milieu du cirque du Vatican ; sa grosseur était telle qu'il fallait quatre hommes pour l'embrasser par le bas : ainsi il pouvait avoir environ 7 pieds de diamètre.

Cet auteur compte six espèces de bois résineux, qu'il désigne par les noms de *Pinus*, *Pinaster*, ou *Tibulus*, *Picea*, *Abies*, *Larix* et *Teda*.

Il a déjà été parlé du *Pinus* ou Pin ordinaire, page 13.

21. Le *Pinaster* est une espèce de Pin sauvage, qui croît fort haut. Il porte des branches depuis le milieu de la hauteur du tronc, tandis que le Pin n'en conserve

qu'à la cime ; il croît également dans les plaines et les montagnes, et fournit plus de résine que le Pin.

22. Le Pin appelé Tibulus est plus délié, plus élevé et sans nœuds ; il ne fournit presque pas de résine. Son bois était réservé pour la construction des navires désignés sous le nom de Liburnes.

23. Le Picea ou Pesse est une espèce de Sapin qui diffère de celui ci-devant décrit, par ses feuilles, qui sont pointues, plus courtes, plus étroites, plus roides et plus vertes que celles du Sapin ; elles sont rangées autour d'un filet commun, de manière à former ensemble une espèce de cylindre ; ses fruits sont écailleux comme ceux du Sapin, mais leur pointe est tournée vers le bas, et ils contiennent des semences oblongues.

Il sort de leur écorce une résine qui s'épaissit, avec laquelle on fait la poix. Son bois, qui est rougeâtre, a la même contexture que le Sapin, mais il est beaucoup moins estimé que le Sapin ; la plupart n'est bon qu'à brûler ; il y en a même qu'on laisse pourir dans les forêts, lorsqu'à force d'en tirer la résine, on les a épuisés et dégradés par des entailles.

24. Le Teda est une espèce de Pin dont les anciens tiraient le goudron pour enduire leurs navires. On croit que c'est l'espèce appelée Torche-Pin ou Pin-Suffis du Briançonnais.

Du Mélèze.

25. Cet arbre est une espèce de Sapin que plusieurs confondent avec le Larix, auquel il ressemble par le feuillage ; cependant il en diffère, 1°. parce que le Mélèze

ne conserve pas ses feuilles pendant l'hiver comme le Larix ; 2°. le Mélèze s'élève moins haut, son bois est plus blanc, moins fort, plus résineux et plus gros que le Larix ; sa résine est blanche, tandis que celle du Larix est moins abondante et couleur de miel, comme celle qui découle du Cédre. 3°. Le bois de Larix est plus rouge, plus ferme, se tourmente moins, et ne change pas de couleur à l'air. Dans les pays où le Mélèze est abondant, on bâtit des maisons ou cabanes avec des pièces de bois carrées d'environ un pied de grosseur, posées horizontalement les unes sur les autres, comme nous avons dit qu'on le pratique en Russie et en Allemagne; ces pièces sont assemblées par des entailles à mi-bois aux angles et à la rencontre des cloisons de refend. Ces maisons sont blanches quand elles sont nouvellement bâties; mais, au bout de deux ou trois ans, elles deviennent noires comme du charbon; toutes les jointures sont remplies et bouchées par la résine que la chaleur du soleil attire hors des pores. Cette résine, en durcissant à l'air, forme un vernis luisant qui rend ces maisons impénétrables à l'eau et au vent, mais elle les rend très-combustibles; c'est ce qui oblige à les bâtir isolées les unes des autres à une certaine distance, pour éviter la communication du feu dans les cas d'incendie.

Du Châtaignier.

26. Le Châtaignier est un grand et bel arbre, qui croît dans les pays tempérés; son tronc devient quelquefois si gros, qu'à peine trois hommes peuvent l'embrasser; il est revêtu d'une écorce blanchâtre crevassée et souvent

couverte de mousse; il s'élève fort haut et droit. Ses branches sont garnies de feuilles longues et dentelées sur les bords; elles portent des fleurs mâles et des fleurs femelles, et des espèces de boules épineuses qui contiennent une ou deux châtaignes; son bois est dur et compacte, propre à la charpente et à la menuiserie; sa couleur approche de celle du bois de Chêne, mais il est moins fort, et, lorsqu'il est vieux, il devient cassant et sujet à se fendre. On voit dans plusieurs édifices d'Italie des charpentes faites de ce bois, qui menacent ruine, tandis qu'on en trouve de plus anciennes en bois de Sapin, qui sont bien conservées et en bon état.

On a cru pendant long-tems que les charpentes de plusieurs anciens châteaux et églises des environs de Paris, qui se sont conservées en bon état jusqu'à présent, étaient faites en bois de Châtaignier, parce qu'on a trouvé que leur texture approchait plus de celle du Châtaignier que du Chêne ordinaire; mais ces bois ayant été examinés avec plus d'attention par MM. de Buffon et d'Aubenton, ils ont reconnu que ce prétendu bois de Châtaignier provenait d'une espèce de Chêne à gros glands, dont l'écorce est blanche et lisse, qui a des feuilles grandes et larges. Son bois est ferme, liant, plus doux et moins coloré que le Chêne ordinaire.

Je pense, comme M. Hassenfratz, que la conservation des charpentes des combles de ces édifices, doit être attribuée au bon choix des matériaux et à la perfection du travail. Les forêts, alors plus multipliées et moins dégradées, contenaient une plus grande quantité de beaux arbres parmi lesquels on pouvait choisir; l'importance qu'on mettait à ce choix, le soin qu'on avait de

les couper dans un tems convenable, et de ne les employer que lorsqu'ils étaient secs, le peu de valeur de la main d'œuvre, exécutée par des gens simples, qui se livraient entièrement à leur art, tout engageait à ne rien épargner pour bien faire. Toutes les pièces de bois étaient bien équarries et dressées à la bisaigüe, et même replanies avec une espèce de rabot appelé galère ; les assemblages étaient bien combinés et solidement faits. Les combles étaient vastes et bien aérés. Les convertures bien faites et bien entretenues, mettaient les bois à l'abri de l'humidité concentrée et de toutes les intempéries de l'air. Toutes ces précautions ont peut-être plus contribué à la conservation de ces charpentes, que la nature du Chêne qu'on y a employé.

Du Noyer.

27. C'est un grand et bel arbre qui croît dans les champs, dont les branches s'étendent beaucoup ; elles sont garnies de grandes feuilles lisses, vertes, oblongues et d'une odeur forte, rangées par paire le long d'une côte qui se termine par une seule feuille. Son fruit, qui est connu de tout le monde, est couvert d'une écorce verte et charnue, et renfermé dans une coque ligneuse qui se sépare facilement en deux parties. Le tronc est couvert d'une écorce blanchâtre et crevassée ; son bois est plein, liant, ondulé, moyennement dur et facile à travailler : il passe pour un des plus beaux et des meilleurs bois de l'Europe. On n'en fait pas d'usage en charpente parce qu'il est sujet à plier sous le fardeau. Les anciens l'ont cependant employé quelquefois pour faire des poutres.

Pline, livre XVI, chapitre 43, vante la propriété que ce bois a de craquer avant de rompre, comme il arriva aux bains d'Antendros, où les baigneuses effrayées de ce bruit eurent le temps de se sauver.

Dans les pays où il est abondant, on l'emploie pour les pressoirs; les menuisiers en font usage pour les lambris et surtout pour les meubles. Ces arbres étaient autrefois fort communs dans le Dauphiné ; on en voit encore dont le tronc a quatre à cinq pieds de diamètre : mais les fortes gelées de 1709 en firent périr beaucoup ; depuis ce temps, il est devenu plus rare.

Érable.

28. On compte plusieurs espèces d'Érables : celui dont le bois est propre à être employé à la construction des édifices, est le grand Érable ou faux Platane, qui croît dans les bois aux lieux montagneux et déserts ; ses branches, qui s'étendent beaucoup, sont garnies de grandes feuilles découpées et dentelées, d'un vert brun en dessus et blanchâtre en dessous. Il vient de la grandeur du Tilleul, son écorce est rougeâtre et un peu raboteuse. C'est le meilleur de tous les bois blancs ; il est sec, léger, sonore, brillant ; il n'est pas sujet à se tourmenter ni à se fendre. Toutes ces qualités le font rechercher des luthiers, des ébénistes, des menuisiers, des tourneurs et autres.

Le Platane.

29. On distingue deux sortes de Platanes, celui du Levant et celui d'Occident. Le premier a les feuilles plus

petites et plus profondément découpées; son écorce est blanchâtre; celle des Platanes d'Occident est plus fine, et verdâtre. Le Platane du Levant est plus touffu, et n'exige pas un terrain aussi humide. Les feuilles de tous les Platanes sont fermes comme du parchemin, elles sont rarement endommagées par les insectes, conservent leur verdure jusqu'aux premières gelées, et exhalent une odeur balsamique, douce et agréable. Ces arbres sont les plus beaux qu'on puisse employer pour former des avenues et de grandes salles dans les parcs; ils deviennent très-grands; leur tronc est fort droit, et s'élève fort haut sans fournir de branches; leur tête est belle, bien touffue et garnie de branches et de feuilles.

Le Platane est un des plus beaux arbres connus; c'est, après le Cédre celui qui est le plus vanté de l'antiquité; poëtes, orateurs, historiens, naturalistes, voyageurs, tous ont célébré cet arbre. On a vu les Romains prendre plaisir à le faire arroser avec du vin. Le bois de Platane est également propre à la charpente et à la menuiserie; sa texture ressemble à celle de l'Érable et du Hêtre, mais il est plus dur et plus fort. Il parvient quelquefois à une grosseur prodigieuse.

Pline parle d'un Platane creux qui existait de son temps en Lycie, auprès d'une fontaine, sur les bords d'un grand chemin; il dit qu'il formait une grotte de quatre-vingt-un pieds de tour, dans laquelle le consul Lucinius Mucianus dîna avec dix-huit personnes, n'ayant pour lits de table que des feuilles. La cime de cet arbre ressemblait à une petite forêt; ses branches étaient si grosses et si grandes, qu'on aurait dit que c'étaient autant d'arbres qui couvraient de leur ombre un vaste terrain.

Le père Ange de Saint-Joseph dit avoir vu, près d'Ispahan, un Platane sur les branches duquel on avait construit une espèce de tente qui pouvait contenir cinquante personnes.

Le fameux Châtaignier de l'Etna, appelé le Châtaignier aux cent chevaux, a, par le bas, au-dessus de ses racines, cent soixante-dix-huit pieds de tour. Le tronc principal, qui est ovale, a cinquante-un pieds de diamètre d'un sens, et vingt-neuf pieds de l'autre; il se divise en cinq grosses branches.

La substance ligneuse du tronc, réduite à environ un pied et demi d'épaisseur, laisse un vide intérieur d'environ cent soixante-quatre pieds de contour; c'est-à-dire plus d'une fois plus grand que celui du Platane dont parle Pline.

L'olivier.

30. Les anciens faisaient usage du bois d'Olivier pour relier la maçonnerie des murs de remparts; après les avoir fait durcir au feu, ils en formaient aussi les courbes et les liernes des plafonds et voûtes en bois qui devaient être revêtus de stuc pour l'intérieur des appartemens, parce que cette espèce de bois se conserve long-temps dans le mortier, et qu'elle n'est pas sujette à se tourmenter. Dans les îles de Rhodes et de Candie on en trouve dont le tronc a jusqu'à deux pieds de diamètre, propres à faire de bonne charpente. Son bois est d'une couleur rousse, plus claire que le Cyprès, avec des veines ondées; il se travaille bien et reçoit un beau lustre; on s'en sert pour la menuiserie et l'ébénisterie.

Les bois dont il vient d'être question sont ceux qui

croissent naturellement en Europe ou qui y sont acclimatés. Les plus utiles, tels que les Chênes, les Sapins, et autres de ce genre, se trouvent dans les autres parties, surtout en Asie et en Amérique, et même sur les côtes de l'Afrique qui bordent la Méditerranée. Pour compléter l'énumération des bois, nous allons ajouter un précis des grands arbres les plus connus qui sont particuliers à chacune des trois autres parties du monde.

Grands arbres d'Asie.

Les arbres qui croissent dans les régions froides situées au nord de l'Asie, sont les Bouleaux, les Aunes, les Pins, les Sapins; dans les pays tempérés et les pays chauds, indépendamment des Peupliers, des Chênes, des Ormes, des Cédres, des Frênes, des Sycomores, des Oliviers, des Mûriers, des Platanes, etc., les grands arbres les plus connus, sont :

31. L'Agoucla ou Bois d'Aigle; il est dur, compacte et pesant; sa couleur est d'un gris brun ou noirâtre; il a une odeur fort agréable lorsqu'on l'approche du feu ou qu'on le brûle. L'arbre dont il provient ressemble à l'Olivier, et croît particulièrement dans la Cochinchine; mais on en fait un commerce qui le rend commun dans toutes les parties des Indes.

32. L'Ambalam est un grand arbre des Indes, qui croît dans les lieux sablonneux; son tronc, qu'un homme a de la peine à embrasser, est couvert d'une écorce épaisse son bois est lisse et poli; les grandes branches sont vertes, couvertes d'une poussière bleue. Chaque feuille est composée de deux paires de plus petites, terminées par une autre de figure irrégulière.

33. L'Angolam est un fort bel arbre d'environ cent pieds de haut, dont le tronc, par le bas, a environ douze pieds de circonférence; il est toujours vert et croît sur les montagnes parmi les rochers. Les Indiens du Malabar le regardent comme le symbole de la royauté, parce que ses fleurs sont attachées aux branches en forme de diadème.

34. L'Anoniréa est un fort grand arbre qui produit un fruit écailleux, nommé *Anone*, de la grosseur d'une poire, plein d'une substance blanchâtre, molle, douce et agréable, qui se mange avec une cuiller.

35. Le Bambou ou Mambou est une espèce de gros roseau, qui s'élève jusqu'à quarante pieds de hauteur; ses feuilles ressemblent à celles de l'Olivier; mais elles sont beaucoup plus longues; son tronc a depuis sept et huit pouces jusqu'à douze à quinze pouces de grosseur par le bas; on en fait des solives, des chevrons, des faîtages, des pannes, des poteaux, des lattes pour la construction des maisons et des pilotis. Son bois est fort dur, ferme et difficile à couper; mais il se fend facilement.

36. L'arbre qui produit le *Benjoin* est grand et touffu; ses feuilles ressemblent à celles du Limonier; il en découle naturellement une gomme aromatique connue sous le nom de *Benjoin*; la meilleure est celle qui vient des jeunes arbres.

37. Le Bogahah est un grand et bel arbre qui croît dans l'île de Ceylan; son tronc est fort droit; il a des feuilles qui tremblent comme celles du Peuplier.

La vénération que les insulaires ont pour cet arbre, lui a fait donner le nom d'*Arbre de Dieu* par les Européens.

38. Le Calamba est un arbre dont le bois est très-précieux par son odeur, à laquelle on attribue de grandes vertus, et par l'usage qu'on en fait pour des ouvrages de marqueterie.

39. Le Calesiam est un grand arbre dont le bois est couleur purpurine obscure; il est uni et flexible.

40. Le Caniram est un arbre fort élevé, dont à peine deux hommes peuvent embrasser le tronc.

41. Le Champakam est un grand arbre qui porte des fleurs deux fois l'année.

42. Le Coapoiba est un arbre de la hauteur du Hêtre, auquel il ressemble; son écorce est de couleur cendrée avec des ondes brunes. Ses feuilles sont oblongues et fermes; si l'on en rompt la queue, il en sort une liqueur laiteuse.

43. Le Congnare est un arbre d'une grande hauteur, dont les branches ont beaucoup d'étendue; ses feuilles sont rondes : il produit une espèce de petite prune d'un goût délicieux. Il est fort estimé à Goa, parce qu'il porte, comme l'Oranger, des fleurs et des fruits qui se succèdent continuellement.

44. Le Cowalam est un grand arbre dont le fruit ressemble à une pomme ronde.

45. Le Cumana est une espèce de Mûrier.

46. Le Cumbulu est un grand arbre commun au Malabar.

47. Le Jacaranda est un arbre dont on distingue deux espèces : l'une qui a le bois blanc sans odeur, et l'autre noir et odorant; tous deux durs, beaux et marbrés.

48. Les Jambos sont des arbres fort hauts, dont les feuilles sont longues et minces; leurs fruits, qui portent

le même nom, sont des espèces de pommes qui contiennent deux noyaux.

49. Le Jomboleira est un arbre sauvage, dont les feuilles ressemblent à celles du Limonier. Il porte des fruits rouges, semblables aux olives appelées *Jambolons*.

50. Le Jamboyera est d'une hauteur commune; ses feuilles sont petites; ses fleurs ressemblent à celles des Orangers. Son fruit est une espèce de poire.

51. Le Katou-Cona est un grand arbre commun au Malabar; il est toujours verd, et porte des fruits et des fleurs en tout temps.

52. Le Katou-Naregam est un autre grand arbre qui porte des limons fort petits.

53. Le Libby est une espèce de Palmier qui croît le long des rivières, où l'on en trouve des bois de cinq à six milles de longueur.

54. Le Maroti est un grand arbre dont les feuilles ressemblent à celles du Laurier.

55. Le Morankgast est un arbre considérable dont les branches s'étendent beaucoup; il est garni de petites feuilles rondes. Son fruit est une longue gousse, remplie d'une sorte de fèves.

56. Le Moringa est une espèce de Lentisque.

57. Le Nagam porte des siliques comme les Caroubiers.

58. Le Negundo est un grand arbre dont on distingue deux espèces, l'une mâle et l'autre femelle. Le mâle a ses feuilles semblables à celles du Sureau, et velues comme celles de la Sauge.

59. Le Negundo femelle a des feuilles comme le Peuplier blanc.

60. Le Niruala est un arbre fort gros, qui s'élève à

trente pieds de haut; il croît dans les lieux pierreux et sablonneux, le long des rivières.

61. L'Oepata est une espèce d'Amandier qui croît sur les bords de la mer et devient fort grand.

62. Le Pagna est un grand arbre qui produit une espèce de coton, dont on se sert pour faire des coussins et des matelas.

63. Le Pala, qui est aussi fort grand, porte des siliques.

64. Le Palmier, appelé Tranfolin est une espèce de Cocotier qui porte des fruits moins gros. Le Palmier des singes est de même espèce.

65. Le Papo est une espèce de Figuier.

66. Le Puna est un arbre si droit et si haut, qu'on peut s'en servir pour les mâts des vaisseaux.

67. Le Sandal est un arbre de la grandeur du Noyer; son bois est très-estimé aux Indes. On en trouve de rouge, de jaune et de blanc; les deux derniers croissent abondamment dans les îles de Timor et de Solor.

68. Le Savonnier est un grand arbre, ainsi nommé parce qu'il produit des fruits en forme de boule, qui contiennent une matière savonneuse, dont les Indiens se servent pour laver la soie.

69. Le Taliir-kara est un grand arbre qui ne produit ni fleurs ni fruits; son tronc, qui est fort gros, est couvert d'une écorce blanchâtre, unie et poudreuse.

70. Le Talipot est un arbre de l'île de Ceylan, dont le tronc fort droit et très-élevé, ressemble à un mât de vaisseau. Il porte à son sommet des feuilles d'une grandeur extraordinaire, dont les naturels du pays se servent pour se garantir du soleil et de la pluie, et pour faire des tentes.

71. Le Tenga ou Cocotier de Malabar, est un arbre dont le tronc est fort droit et sans branches, qui s'élève à trente ou quarante pieds de hauteur ; il est terminé par dix ou douze grandes feuilles qui sortent de l'extrémité du tronc. La longueur de ses feuilles est de huit à dix pieds. On s'en sert pour couvrir les maisons ; son bois, qui est spongieux, n'est propre à la construction que lorsqu'il est vieux. On trouve au sommet, entre les feuilles, une espèce de chou-fleurs, dont un seul suffit, dit-on, pour rassasier six personnes. Ses fruits, appelés noix de Coco, sont de la grosseur de la tête d'un homme, enveloppés d'une coquille dure et ligneuse, qui, étant travaillée, est propre à différens usages ; elle contient une certaine quantité d'eau claire, odorante et aigrelette, une moelle bonne à manger, dont le goût approche de celui de l'amande; on en tire de l'huile. Les coquilles sont garnies à l'intérieur d'une espèce de bourre rougeâtre, et filandreuse, dont les Indiens font de la ficelle, des câbles et des cordages. Cette bourre est préférable à l'étoupe pour calfater les vaisseaux, parce qu'elle ne se pourrit pas si vite.

Cet arbre passe aux Indes et en Afrique pour le plus utile de tous. Avec son tronc, on bâtit des maisons, dont le toit est couvert de ses feuilles, et dont les meubles et les ustensiles peuvent être formés de son bois et de ses coquilles ; on en fait des barques avec leurs mâts et leurs vergues ; les cordages, les voiles sont faits de ses filamens les plus déliés, dont on fabrique diverses sortes d'étoffes. Ainsi des barques formées du bois de cet arbre merveilleux peuvent êtres chargées de fruits, d'eau-de-vie, de miel, de sucre, , d'étoffes et de charbons provenant de ces mêmes arbres.

72. Le Theca est un grand arbre qui peut être considéré comme le Chêne des Indes; on en trouve des forêts entières. Les Indiens idolâtres n'emploient point d'autre bois pour bâtir et réparer leurs temples.

Grands arbres particuliers à l'Afrique.

73. L'Acacia véritable est un grand arbre qui croît en Egypte, en Arabie et en Afrique. Il est fort branchu, armé d'épines; ses feuilles sont opposées et les fleurs de couleur d'or, sans odeur; son bois est dur et liant, propre à la charpente et à la menuiserie. Cet arbre croît aussi à la Chine, où il est connu sous le nom de *Hoai-chu;* en France, il ne peut être élevé que dans les serres.

74. Le Baobab ou Pain de Singe est un arbre monstrueux du Sénégal, dont le tronc a depuis soixante-quinze pieds jusqu'à cent pieds de tour, et qui s'élève de soixante à quatre-vingts pieds de hauteur. Les premières branches s'étendent presque horizontalement; comme elles sont grosses, et qu'elles ont environ soixante pieds de longueur, leur propre poids en fait plier l'extrémité jusqu'à terre; en sorte que la tête de l'arbre, qui est assez régulièrement arrondie, cache absolument son tronc et paraît une masse hémisphérique de verdure de cent-cinquante à deux cents pieds de diamètre. Ses feuilles sont longues d'environ cinq pouces sur deux pouces de large, attachées trois, cinq ou sept sur un pédicule commun à-peu-près comme celles du Marronnier, auxquelles elles ressemblent beaucoup; elles ne naissent que sur les jeunes branches.

L'écorce de cet arbre est grisâtre, épaisse, fort souple

et très-liante ; celle des branches est parsemée de poils fort rares. Le bois de l'arbre est tendre, léger et assez blanc.

Les fleurs et les fruits sont proportionnés à la grosseur de l'arbre. Lorsque les fleurs sont épanouies, elles ont quatre pouces de longueur sur six pouces de diamètre ; elles sont du genre des malvacées. Les fruits sont oblongs, pointus à leurs deux extrémités, ayant quinze à dix-huit pouces de longueur sur cinq à six de large, recouverts d'un duvet verdâtre, sous lequel est une écorce dure, ligneuse et presque noire, marquée de douze à quatorze sillons, qui le partagent en côtes suivant sa longueur. Ce fruit tient à l'arbre par un pédicule d'environ deux pieds de long ; il renferme une espèce de pulpe ou substance blanchâtre, spongieuse, remplie d'une eau aigrelette et sucrée.

Quoique le bois de cet arbre soit tendre, il est fort longtems à parvenir à son énorme grosseur. M. Adanson, qui a eu occasion de les examiner en parcourant les pays où ils croissent, prétend, d'après toutes les recherches qu'il a faites sur cette espèce d'arbre, qu'un Baobab de vingt-cinq pieds de diamètre doit avoir plus de trois mille sept cent cinquante ans.

Les Baobabs élevés dans les serres et dans les climats tempérés, soigneusement entretenus à la température du climat où ils croissent naturellement, prennent un accroissement encore beaucoup plus lent.

75. Le Billagoh est un fort grand arbre, dont les nègres se servent pour faire des canots.

76. Le Bischalo, qui croît sur les rives de la Gambra, est un arbre dont le tronc est fort droit, et dont le feuillage donne beaucoup d'ombre ; son bois est dur et bon pour la charpente.

77. Le Bissy croît à dix-huit à vingt pieds de hauteur; son écorce, qui est d'un rouge brun, sert pour teindre la laine. Les nègres l'emploient aussi à faire des canots.

78. L'arbre appelé Bois-Rouge se trouve dans le pays de la Côte-d'Or, où il devient fort gros; son bois, qui est très-dur, est d'un excellent usage.

79. Le Bonde est un arbre gros et touffu, dont le tronc a sept ou huit brasses de tour; son écorce est épineuse; et le bois, qui est fort doux, sert à faire des canots.

80. Le Boudou a les feuilles minces et luisantes; son bois est jaune sur l'arbre et devient rouge lorsqu'il est coupé.

81. Le Calebassier est un arbre dont les nègres font beaucoup de cas, parce qu'il leur fournit des vases. Le tronc de cet arbre a environ quatre pieds de circonférence; son bois est doux, se travaille bien et prend facilement le poli.

82. Le Caroubier est un arbre de moyenne grandeur, branchu, garni de feuilles épaisses, vertes et presque rondes, qui ne tombent point en hiver; il porte des gousses aplaties de la longueur d'un demi-pied; son bois est dur et d'un bon usage.

83. Le Ceiba, quoique moins gros que le Baobab, surpasse tous les autres arbres en grosseur et en hauteur. M. Adanson en a vu au Sénégal qui avaient plus de cent vingt pieds de hauteur. Leur tige ou tronc avait huit à douze pieds de diamètre, sur soixante à soixante-dix pieds de hauteur entre la terre et les branches. Son bois, quoique léger et mou, sert au Sénégal et en Amérique; on en fait des pirogues ou canots capables de porter voile sur la mer; leur longueur est de cinquante à soixante pieds sur dix à douze pieds de largeur, et ils sont capables de porter deux cents hommes.

84. On trouve en Afrique beaucoup de Citronniers, d'Orangers et de Limoniers ou Limiers, qui y deviennent fort grands et touffus, comme presque tous les arbres du Sénégal.

85. Le Kapot est encore un grand arbre dont on fait des canots; on en trouve près d'Axim, que dix hommes ne pourraient pas embrasser. Son bois est de même nature que le Ceiba. Il porte une espèce de bourre, dont on fait des matelas.

86. Le Katy est encore un arbre dont on peut faire des canots; son bois est fort dur, et à l'épreuve des vers.

87. Le Kolach est un grand arbre qui porte une espèce de prune fort bonne à manger; son bois, qui est dur, est propre à la charpente et à la menuiserie.

88. Le Kurbaris est un arbre gros et touffu qui croît abondamment le long des bords de la Gambra et dans les environs. Il croît fort lentement comme tous les bois durs; son tronc, qui est fort rond et droit, n'a pas moins de trois pieds de diamètre sur quarante pieds de haut. Son bois, qui est facile à travailler, parce qu'il n'a pas de nœuds, n'est pas sujet à se fendre. Il est très-propre pour les ouvrages de charpente et de menuiserie. Cet arbre est fort branchu et garni de feuilles, qui forment un ombrage agréable.

89. Le Latanier est une espèce de grand palmier, qui vient abondamment dans le Sénégal; on en a vu dont la hauteur était de cent pieds. Ses branches, qui croissent au sommet de l'arbre, sont au nombre de quarante à soixante. Ce sont des espèces de roseaux sans nœuds, moyennement flexibles, qui portent à leurs extrémités des feuilles formant un éventail naturel d'environ deux pieds de large.

90. Le Mischery n'est pas d'une grande hauteur, mais

son tronc est fort gros. Son bois est bon; il est gris, sans nœuds, facile à scier; on estime les planches faites de ce bois, parce que les vers ne s'y mettent jamais.

91. Le Palmier est une espèce d'arbre qui croît dans presque toutes les parties de l'Afrique, où l'on en trouve une grande variété, dont la tige s'élève depuis trois pieds jusqu'à plus de cent pieds; ils ne portent tous des feuilles qu'au sommet de l'arbre, qui diffèrent entr'elles; outre les fruits et les liqueurs qu'on tire de cet arbre, le tronc de celui appelé Dattier sert pour la charpente; on en fait des pieux qui résistent long-temps dans l'eau.

92. Le Quamiay est un grand arbre qui croît aux environs du Cap-Verd, dont le bois est si dur que les nègres en font des mortiers pour piler le riz.

93. Le Sanara est un arbre du Sénégal dont les feuilles ressemblent à celles du Laurier-Rose. Son tronc est couvert d'une écorce grise et mince; son bois, qui est brun et dur, a l'avantage de durcir encore davantage à l'eau, et de s'y conserver.

94. Le Tamarin croît dans les parties occidentales de l'Afrique. Il s'en trouve au sud du Sénégal d'une hauteur extraordinaire; mais ordinairement il est de la taille des grands Noyers; branchu et beaucoup plus touffu, le tronc est toujours droit; son diamètre a ordinairement plus de trois pieds. Le bois est propre à la charpente et à la menuiserie.

Grands arbres particuliers à l'Amérique.

On trouve en Amérique presque toutes les espèces d'arbres qui croissent dans les trois autres parties de la terre. Quant à ceux qui sont particuliers à cette partie du monde, les plus considérables sont :

95. Le grand Acajou ou l'Acajou à planches, qui croît dans l'Amérique méridionale et les Antilles; il vient aussi haut que les plus grands Chênes; il y a de ces arbres dont le tronc sert à faire des canots d'une seule pièce, de quarante pieds de longueur sur plus de cinq pieds de largeur; son bois est ordinairement rouge, mais il y en a de marbré de jaune et de blanc clair; il est beau, bien plein, se travaille bien et se polit aisément. Celui de Cayenne l'emporte sur celui des îles, par la finesse de son grain et la nuance de ses fibres. On en fait des meubles qui communiquent au linge et aux hardes qu'on y renferme une odeur suave. Il y en a une espèce qu'on appelle Cédre de Saint-Domingue, dont on fait actuellement beaucoup d'usage. Ce bois, qui se pourrit difficilement dans l'eau, est également bon pour la charpente et la menuiserie.

96. L'Acomas est un grand et gros arbre dont la feuille est large, et qui porte des fruits en olive d'une couleur jaune et d'un goût amer. On fait usage de son bois pour la construction des vaisseaux, et on en tire des poutres de dix-huit pouces en carré sur soixante pieds de longueur.

97. L'Andira ou Angelin est un arbre du Brésil, dont la feuille ressemble au Laurier, mais plus petite; l'écorce du tronc est cendrée. Son bois dur est propre pour la charpente des bâtimens.

98. L'Araboutin est un grand arbre dont le bois est connu sous le nom de Bois de Brésil, qui sert pour la teinture.

99. Le Bagasse est un arbre de la Guyanne, fort grand et touffu, dont la feuille est digitée; son bois est léger, liant et difficile à fendre.

Balatas, grand arbre de la Guyanne, dont on distingue trois espèces principales :

100. 1°. Le Balatas blanc, dont la feuille est étroite et pointue; il s'élève assez haut et fort droit; son écorce est brune et crevassée. Son bois est facile à travailler et propre à la charpente; mais il est sujet aux poux de bois qui le pénètrent d'un bout à l'autre.

101. 2°. Le Balatas rouge, appelé à Saint-Domingue Sapotilier marron, vient ordinairement aux bords des rivières, l'emporte sur tous les autres arbres par sa beauté, sa hauteur, sa grosseur et sa tige droite. A Cayenne, le bois de cet arbre passe pour le premier de ceux qu'on emploie pour bâtir; c'est un de ceux qui résistent le plus à l'air. Cependant il s'éclate et se fend quelquefois lorsqu'il est exposé à l'ardeur du soleil; il y perd sa couleur rouge, et devient grisâtre; mais, lorsqu'il est à couvert, il dure aussi long-temps que le Chêne.

102. 3°. Le Balatas à grosse écorce, vient aussi haut et plus haut que le Balatas rouge; mais il est tortu et plein de nœuds. Son bois, qui se travaille moins bien, n'est propre que pour les gros ouvrages de charpente.

103. Bois-Benoît-Fin ou de Feroles, appelé aussi Bois-Marbré, Bois-Satiné, est un grand arbre de Cayenne et des Antilles, qui est fort touffu. Son bois est jaspé comme du marbre veiné de rouge; il est recherché pour les ouvrages de marqueterie et pour des meubles précieux; il y en a dont le fond est blanc et d'autres dont il est jaunâtre. Les ébénistes lui donnent différens noms, suivant les couleurs et les nuances qu'il présente étant coupé à des hauteurs différentes.

104. Bois de Brésil. L'arbre dont on tire ce bois croît dans les forêts; il est toujours tortu et raboteux; ses feuilles ressemblent à celles du Buis. Le bois est recouvert d'un aubier si épais, que d'un arbre de la grosseur d'un homme,

à peine reste-t-il, quand on l'a enlevé, une bûche de quatre à cinq pouces de gros. Celui de Fernambouc est le plus estimé pour la teinture.

105. Bois de Campèche, bois d'Inde, ou bois de la Jamaïque. Il provient d'un grand arbre dont les feuilles ressemblent à celles du Laurier ordinaire, ce qui lui a fait donner le nom de Laurier aromatique. Ce bois, qui est dur, est d'une belle couleur marron tirant sur le violet; il s'en trouve à fond brun tacheté de noir très-régulièrement ; on en fait des meubles précieux parce qu'il prend un très-beau poli. On s'en sert aussi pour la teinture.

106. Bois Capucin ou bois Signor; vient d'un très-grand arbre de Cayenne. Il est bon pour bâtir, et ressemble au Balatas, dont il a été ci-devant parlé, mais il a le grain plus fin.

107. Bois Incombustible dont on se sert pour bâtir les maisons à Panama ; on prétend que les charbons de feu qu'on met dessus ne font que le percer sans l'enflammer, et qu'il s'éteint dans sa cendre.

108. Bois-Léger; croît dans le même pays ; il est presque aussi léger que le liége ; il provient d'un arbre de la grosseur d'un Orme, dont le tronc est fort droit. Les habitans en forment des radeaux pour traverser les rivières.

109. Bois de Lettres; provient d'un arbre de la Guyanne, dont les feuilles ressemblent au Laurier. Il est beau, très-dur, à fond rouge moucheté de noir. Il y en a dont le fond est jaune. Il prend un beau poli et il est fort estimé des ébénistes. Il y en a qui lui donnent le nom de Bois-Tapiré. Dans le pays on en fait des meubles ; comme il a une très-bonne odeur, il la communique aux objets qu'on y renferme.

109. Bois de Palixandre ou Bois-Violet; vient des Indes en grosses bûches ; il réunit à une odeur douce et agréable, une belle couleur tirant sur le violet avec des marbrures. On estime davantage celui dont les veines sont plus tranchantes. Son grain, qui est serré, fait qu'il prend un poli brillant ; on l'emploie pour les ouvrages de tour et de marqueterie.

110. Bois de Rhodes ou de Chypre, appelé aussi Bois de Rose, à cause de son odeur, est un bois précieux dont la couleur est jaune ou feuille-morte, dur, tortueux et rempli de veines qui le rendent très-propre aux ouvrages de marqueterie, et qui prend un beau poli ; quelques-uns pensent que c'est le même que le Bois-Citron.

111. Bois-Rouge ou Bois-de-Sang. C'est le bois d'un très-grand arbre d'Amérique. Il est d'abord d'un très-beau rouge, mais il perd sa couleur avec le tems et devient gris; tandis que son écorce, qui est grise, devient rouge en séchant.

112. Gagou est un grand arbre de la Guiane, que les habitans regardent comme une espèce de Cédre. Son bois, qui est fort liant, a une couleur qui ressemble à celle des pierres à fusil.

113. Le Gaïac est un arbre de la Jamaïque dont le bois est fort dur, compacte et pesant ; on s'en sert pour des poulies, des roulettes et autres ouvrages de tour.

114. Le Gommier est un grand arbre de l'Amérique, qui tire son nom de la grande quantité de gomme qu'il jette : on en distingue de deux espèces, le *Gommier blanc* et le Gommier rouge.

115. Le Gommier blanc devient plus haut et plus gros que l'autre. Son tronc a souvent quatre à cinq pieds de diamètre ; son bois est blanc, dur, difficile à mettre en œuvre ; on en fait des canots d'une seule pièce.

NOMS DES ARBRES.	HAUTEUR MOYENNE DES ARBRES En mètres.	HAUTEUR MOYENNE DES ARBRES En pieds.	HAUTEUR MOYENNE DES TRONCS En mètres.	HAUTEUR MOYENNE DES TRONCS En pieds.	DIAMÈTRES DES TRONCS En centim.	DIAMÈTRES DES TRONCS En pouces.	PESANTEUR spécifique.	POIDS d'un pied cube en livres.
Marronnier	24	72	14	42	92	36	657	46
Mélèse	25	75	15	45	90	33	656	46
Noyer	18	54	9	45	92	34	680	47 $\frac{1}{2}$
Noyer d'Amérique	20	60	10	30	96	36	735	51 $\frac{1}{2}$
Orme	24	72	14	42	80	30	738	51 $\frac{2}{3}$
Peuplier d'Italie	25	75	15	45	81	30	415	29
Pin du nord	27	81	15	45	87	33	612	43
Plane	25	75	14	30	75	28	622	43 $\frac{1}{2}$
Platane d'Orient	27	81	14	42	96	36	538	37 $\frac{2}{3}$
Platane d'Occident	25	75	13	39	90	33	704	49 $\frac{1}{2}$
Poirier sauvage	12	36	6	18	36	14	715	50
Pommier *id.*	10	30	5	15	33	12	735	51 $\frac{1}{2}$
Prunier *id.*	9	27	5	15	30	11	762	53 $\frac{1}{3}$
Sapin	32	96	18	54	120	44	542	38
Saule	18	54	9	27	30	22	462	32 $\frac{1}{2}$
Sicomore	20	60	10	30	72	27	645	45
Sorbier	12	36	6	18	42	16	742	52
Tilleul	18	54	10	30	66	25	564	39 $\frac{1}{2}$
Tulipier	20	60	10	30	70	26	477	33 $\frac{1}{3}$
Thuya de la Chine	18	54	10	30	56	21	560	39 $\frac{1}{2}$
Vernis du Japon	10	30	6	18	36	14	820	57 $\frac{1}{2}$

ARTICLE III.

Des qualités et propriétés des bois de charpente.

Après avoir fait l'énumération des principaux arbres dont le bois peut être employé dans les bâtimens, tant pour la charpente que pour la menuiserie et autres ouvrages, nous allons terminer par des observations sur les qualités les plus essentielles des bois, telles que leur fermeté, leur densité, leur pesanteur et leur force, qui contribuent le plus à la solidité des ouvrages et des constructions auxquels on les emploie.

Les bois de charpente sont ceux qui méritent la plus grande attention ; ils sont les plus considérables et les plus importans, soit qu'on considère leurs grandes dimensions, soit qu'on examine les qualités qu'ils doivent avoir pour former des ouvrages solides et durables. Souvent ils sont destinés à soutenir de très-grands fardeaux, à résister aux plus grands efforts et à être exposés aux intempéries de l'air. Selon les pays et les circonstances, tantôt ces bois composent la totalité des édifices, et tantôt il n'y entrent que comme partie, en s'unissant aux autres genres de construction. Presque toujours ils servent à former les planchers et les combles. Dans tous ces cas, ils sont susceptibles d'une grande durée, lorsqu'ils ont la force et les dimensions proportionnées aux efforts qu'ils ont à soutenir.

La pierre a, il est vrai, sur le bois, l'avantage d'une plus grande dureté, de pouvoir résister plus long-temps aux intempéries de l'air, de n'être pas sujette à se tour-

menter et à changer de forme et de volume, de procurer aux édifices qui en sont construits une solidité et une stabilité plus grande que celles qui résultent de l'emploi du bois.

Les propriétés du bois sont d'être moins fragile que la pierre, d'être plus facile à travailler et à transporter. Le bois étant formé de fibres longitudinales, très-roides et fortement unies entre elles, peut également servir à tirer et à porter. Il peut être posé debout, en travers ou incliné. La pierre au contraire, étant composée de parties grenues réunies en tout sens, ne peut résister solidement qu'à l'effort de la pression, étant posée l'une sur l'autre; les pierres qu'on trouve posées en travers comme des pièces de bois, pour former des plafonds ou des architraves dans les anciens édifices des Égyptiens et des Grecs, supposent une consistance qui ne se trouve pas dans les pierres ordinaires. Le plus grand inconvénient de l'emploi du bois dans la construction des édifices, est de les rendre sujets aux incendies. Cette raison, plus que tout autre, a contribué à discréditer les constructions en bois et à en diminuer l'usage. C'est à cette cause qu'on doit peut-être la découverte de l'art des voûtes, moyen ingénieux de suppléer aux toits de charpente et aux planchers.

Il est cependant beaucoup de circonstances où l'on ne peut pas substituer la pierre au bois, pour les machines et les constructions hydrauliques. Le bois est même nécessaire pour la construction des édifices tout en pierres ou en briques ; les cintres, les échafauds et les machines ne peuvent être construits qu'en cette matière.

Les bois dont on fait le plus d'usage sont le chêne et le sapin.

Le bois de chêne est un des meilleurs qu'on puisse employer pour les ouvrages de charpente ; il a toutes les qualités nécessaires, telles que la grandeur, la force et la fermeté. Il se trouve des chênes assez grands pour fournir des pièces de bois de soixante à quatre-vingts pieds de long, sur deux pieds d'équarrissage. Harlay rapporte que, dans le comté d'Oxfort en Angleterre, on avait abattu un chêne dont le tronc avait produit une poutre de cinq pieds en carré, sur quarante pieds de long. Ray rapporte, dans son *Histoire générale des plantes*, qu'on voyait de son temps, en Westphalie, plusieurs chênes monstrueux dont un, qui servait de citadelle, avait trente pieds de diamètre sur cent trente de haut.

Charles Ier., roi d'Angleterre, fit abattre un chêne prodigieux dont le tronc fournit quatre poutres de chacune quarante pieds de long, sur quatre pieds neuf pouces en carré. Dans l'usage ordinaire, les plus grandes poutres ne passent pas trente-six à quarante pieds de longueur, sur deux pieds ou deux pieds un quart d'équarrissage. Les pièces de bois de ces dimensions passent pour être de la première qualité et se vendent fort cher.

Quant à la dureté de son bois, le chêne a l'avantage sur tous les autres arbres qui peuvent fournir d'aussi grandes pièces. Il est aussi le plus pesant, celui qui se conserve le mieux à l'air, plongé dans l'eau ou enfoncé dans la terre. On dit ordinairement que le chêne est cent ans à croître, qu'il se maintient cent ans, et qu'il est cent ans à dépérir sur pied ; mais l'expérience prouve que sa durée est bien plus longue.

Lorsque ce bois a été coupé dans une saison favorable et employé sec, à couvert des injures de l'air, il

dure jusqu'à cinq à six cents ans; employé sous terre ou dans l'eau, on ne connaît pas le terme de sa durée. Il a encore l'avantage de la force sur les bois de construction de même grandeur.

Le bois de chêne, ainsi que celui de tous les autres arbres, varie de pesanteur, de dureté, de densité et de force, selon la nature des terrains où il croît.

La densité est toujours en rapport avec la durée de son accroissement. Les arbres qui croissent le plus lentement ont toujours leur bois plus dur, plus pesant, plus compacte et plus fort.

On ne distingue pas d'aubier dans les arbres dont le bois est mou, tels que le tilleul, le bouleau, l'aune, etc.

Il résulte des expériences faites sur le chêne et sur plusieurs autres espèces de bois, que leur force est proportionnelle à leur densité et à leur pesanteur, c'est-à-dire que de deux pièces de même bois et de même dimensions, la plus pesante est ordinairement la plus forte.

La pesanteur du bois varie dans un même arbre. On a observé que les pièces tirées de la partie inférieure de l'arbre sont plus pesantes que celles tirées du milieu, et que ces pesanteurs diminuent dans les parties les plus élevées, et les branches en raison de ce qu'elles sont plus éloignées du bas du tronc. Ainsi lorsqu'il s'agit de choisir une pièce forte, il faut la prendre dans la partie inférieure de l'arbre.

Dans les arbres qui n'ont pas acquis toute leur croissance, le bois pris vers le cœur du tronc est plus dur que celui de la circonférence. M. de Buffon a trouvé que cette dureté décroît à-peu-près en proportion arithmétique.

Dans les arbres parfaits, qui sont parvenus à toute leur croissance, la dureté est presque égale du centre à la circonférence.

Dans les arbres qui commencent à dépérir, le cœur est moins dur que la circonférence. Ces observations font voir combien il est avantageux de ne couper les arbres que dans le tems où ils ont pris toute leur croissance.

La pesanteur spécifique moyenne du bois de chêne nouvellement abattu est de mille à mille cinquante-quatre; c'est-à-dire que le pied cube pèse de soixante-dix à soixante-quatorze livres; il diminue de poids en séchant. Pour qu'il soit assez sec pour être employé à la charpente, il faut que ce poids soit réduit à soixante ou soixante-trois livres. On a trouvé que le plus grand degré de desséchement qu'il puisse acquérir, est d'environ le tiers de son poids, ce qui réduit la pesanteur, pour un pied cube à cinquante ou cinquante-trois livres.

Le bois de chêne et en général tous les bois trop secs sont moins forts et plus cassans que ceux nouvellement coupés; ces derniers sont de peu de durée, ils se corrompent facilement. Les bois moyennement secs, c'est-à-dire qui n'ont perdu que le sixième de leur poids, sont ceux qu'il faut préférer.

Les fibres des bois nouvellement coupés étant encore remplies de sève, sont plus liantes, plus fortement réunies que dans les bois tout-à-fait secs. Dans ces derniers, les fibres ont plus de roideur et moins d'adhérence; c'est pourquoi ils se fendent plus facilement et se rompent tout à coup sous une charge moindre.

Les fibres des bois moyennement secs sont plus

roides que celles des bois verds, et plus adhérentes que celles des bois secs; d'où il résulte que le degré moyen de desséchement le plus avantageux pour les ouvrages de charpente, c'est-à-dire le poids du pied cube, est celui où il est réduit à soixante ou soixante-deux livres.

Dans les constructions en charpente, les bois agissent tantôt par leur force absolue, et tantôt par leur force relative. Nous entendons par force absolue, l'effort qu'il faut pour rompre un morceau de bois, en le tirant par les deux bouts, selon la longueur de ses fibres.

La force relative du bois dépend de sa position: ainsi une pièce de bois, posée horizontalement sur deux appuis placés à ses extrémités, se rompt plus facilement et sous un moindre effort que si elle était inclinée ou d'aplomb. On trouve que l'effort qu'il faut pour la rompre est d'autant moins grand, que ces pièces sont plus longues, et que cet effort ne décroît pas tout-à-fait en raison inverse de leur longueur, lorsque les grosseurs sont égales. Par exemple, une pièce de six pouces en carré de grosseur sur huit pieds de long, posée horizontalement, porte un peu plus du double d'une autre de même grosseur sur seize pieds de long, posée de même.

On trouve encore que dans les bois dont les fibres ne sont pas tranchées, la force absolue de sa grosseur est à-peu-près la même; en sorte qu'il faut un effort égal pour rompre deux morceaux de bois de même nature et de même grosseur, en les tirant par les deux bouts, quoique leur longueur soit différente.

Voici le résultat de quelques expériences sur la force absolue du bois de chêne, dont la pesanteur spécifique était de huit cent soixante-un, ou soixante-une livres le pied cube.

ARTICLE IV.

SUR LA FORCE DU BOIS DE CHÊNE.

1°. *Tiré par les deux bouts.*

Première expérience.

Une petite tringle d'une ligne en carré sur deux pouces de longueur, terminée par deux talons de trois lignes pour la suspendre et soutenir le poids, étant posée verticalement et tirée par les deux bouts, s'est rompue dans la partie où sa grosseur n'était que d'une ligne, sous un effort de. . . . . 107 livres

Une autre semblable, et tirée du même morceau de bois, s'est rompue sous un poids de. 98

Une autre *idem* a porté. 102

Total. 307

dont le tiers donne pour résultat moyen 102 $\frac{1}{3}$.

Deuxième expérience.

Une autre tringle de même bois, de 2 lignes en carré et de 2 pouces de longueur, a porté avant de se rompre. 407

Une autre *idem* a porté. 387

Une autre. 418

En tout. 1212

dont le tiers donne pour résultat moyen 404 livres pour

quatre lignes de superficie de grosseur, et pour une ligne 101 livres.

Troisième expérience.

Trois autres tringles de chacune trois lignes en carré, c'est-à-dire 9 lignes de superficie de base sur 8 pouces de long, se sont rompues,

La première sous un poids de.	934
La deuxième.	908
La troisième.	915
Total	2757

qui donne 919 pour poids moyen, et 103 $\frac{1}{2}$ pour chaque ligne.

Quatrième expérience.

Trois autres tringles de même grosseur sur un pied de long, se sont rompues,

La première sous un poids de	917 livres
La deuxième	925
La troisième	911
Total	2753

qui donne 917 $\frac{2}{3}$ pour poids moyen, et, à très-peu de chose près, 102 livres par ligne superficielle.

On peut conclure de toutes ces expériences, que la force absolue du bois de chêne ordinaire est d'environ 102 livres par ligne superficielle de sa grosseur.

2°. *De la force des bois debout.*

Si le bois n'était pas flexible, une pièce de bois posée bien d'aplomb porterait une même charge, quelle que fût sa hauteur; mais l'expérience prouve que dès qu'un poteau a plus de sept ou huit fois la largeur de sa base en hauteur, il plie sous la charge avant de s'écraser ou de se refouler, et qu'une pièce de bois dont la hauteur aurait cent fois le diamètre de sa base, n'est plus capable de porter le moindre fardeau sans plier. La proportion selon laquelle cette force diminue en raison de la hauteur est difficile à déterminer à cause de la variété des résultats que donne l'expérience. Cependant j'ai reconnu, par un grand nombre d'expériences, que lorsqu'une pièce de bois de chêne est trop courte pour pouvoir plier, la force qu'il faut pour l'écraser ou la faire refouler est de quarante à quarante-huit livres par ligne superficielle de sa base, et que cette force pour le bois de sapin va de quarante-huit à cinquante six.

Des cubes de chacun de ces bois, mis en expérience, ont diminué de hauteur en se refoulant sans se désunir; ceux en bois de chêne de plus d'un tiers, et ceux en sapin de moitié.

Une pièce en sapin ou en chêne diminue de force dès qu'elle commence à plier, en sorte que la force moyenne du bois de chêne, qui est de quarante-quatre livres par ligne superficielle pour un cube, se réduit à deux livres pour une pièce de même bois dont la hauteur est égale à soixante-douze fois la largeur de la base. Un très-grand

nombre d'expériences que j'ai faites à ce sujet m'ont donné la progression suivante :

Pour un cube dont la hauteur est 1, la force est 1

Pour une pièce dont la hauteur est 12. . . . . $\frac{5}{6}$

Pour 24. . . . . $\frac{1}{2}$

Pour 36. . . . . $\frac{1}{3}$

Pour 48. . . . . $\frac{1}{6}$

Pour 60. . . . . $\frac{1}{12}$

Pour 72. . . . . $\frac{1}{24}$

Ainsi, pour un cube en chêne d'un pouce de superficie de base, posé de bout, c'est-à-dire dont la direction des fibres est verticale, la force moyenne est exprimée par 144×44, qui donne 6336. . . . . .

L'expérience donne.	Résultat moyen.
6460	6346
6460	
6120	

Pour une tringle de même bois et de même superficie de base, sur 12 pouces de haut, la force est $144 \times \frac{44 \times 5}{6}$ qui donne 5280

5480	5310
5310	
5140	

Pour une tringle *idem* de 24 pouces de haut, la force est $144 \times \frac{44}{2} = 3163$. . . . .

2931	2911
2516	
3286	

Pour une autre de 36 pouces de haut, la force est $144 \times \frac{44}{3}$, qui donne 2112. . . .

2166	2163
2256	
2080	

Pour une de 48 pouces de haut, la force est de $144 \times \frac{44}{6}$, qui donne 1856.

Pour 60 pouces, $144 \times \frac{44}{12}$, 528.

Pour 72 pouces, $144 \times \frac{44}{24} = 264$.

Pour un cube d'un pouce carré en bois de sapin, posé de même, on a 144×52, qui donne 7488. . . . . .

7480	7490
7370	
7620	

	L'expérience donne	Résultat moyen.
Une tringle carrée, d'un pouce de base sur 12 pouces de haut, donne $144 \times \frac{52 \times 5}{6} = 6240$	6390 6286 6388	6355
Pour 24 pouces, $144 \times \frac{52}{5}$, qui donne 3744	3161 3266 3840	3429
Pour 36 pouces, $144 \times \frac{52}{3}$, qui donne 2496	2641 2825 2260	2575

Pour 48 pouces, $144 \times \frac{52}{6}$, 1248.

Pour 60 pouces, $144 \times \frac{52}{12}$, 624.

Pour 72 pouces, $144 \times \frac{52}{24}$, 312.

Cette règle s'accorde aussi avec les expériences faites par MM. Peronnet, Lamblardie et Girard.

Dans le Traité analytique sur la Résistance des Solides de M. Girard, on trouve, n°. 8 de la première table, qu'une pièce de bois de chêne posée debout, dont la longueur était de deux mètres deux cent soixante-treize millimètres, la largeur de cent cinquante-cinq millimètres $\frac{2}{3}$, et l'épaisseur de cent quatre millimètres, s'est rompue sous une charge de 33120 kilogrammes.

En réduisant les dimensions de cette pièce en pieds, pouces et lignes, on trouve sa longueur de sept pieds huit pouces sept lignes, sa largeur de cinq pouces neuf lignes, et son épaisseur de trois pouces dix lignes, formant une base de 3174 lignes carrées. Le poids de 33120 kilogrammes sous lequel elle s'est rompue équivaut à 67663 livres. En supposant cette pièce d'une bonne qualité et sans défaut, sa force moyenne par ligne carrée serait de 44 livres pour un cube de même superficie de base; mais, comme cette pièce a une hauteur qui

est d'environ 22 fois son épaisseur, cette force doit, d'après la progression que nous avons indiquée, se réduire à moitié, c'est-à-dire à 22. Ainsi, en multipliant les 3174 lignes de la base de cette pièce par 22, on trouvera 69828 pour l'effort sous lequel elle aurait dû se rompre, au lieu de 67663 qu'a donné l'expérience; mais il est facile de concevoir que le moindre défaut de position ou de qualité peut avoir produit cette différence,

Il résulte de ces expériences que dès qu'une pièce de bois commence à plier, elle perd beaucoup de sa force; c'est pourquoi un poteau ne devrait jamais avoir en hauteur plus de dix fois la largeur ou le diamètre de sa base.

En ne calculant la force d'un pareil poteau qu'à raison de 10 livres par ligne superficielle, c'est-à-dire qu'au quart de la charge sous laquelle il s'écraserait, on trouve qu'un poteau d'un pied superficiel comprenant 20736 lignes carrées pourrait soutenir un poids de plus de 200 milliers. Cependant comme il se trouve une infinité de circonstances qui peuvent doubler ou tripler l'effort d'un poids ou d'une charge, il est prudent de ne compter la force d'un poteau dont la hauteur n'excède pas dix fois la largeur de sa base, qu'à raison de cinq livres par ligne superficielle, ce qui réduit la charge à porter par un poteau d'un pied superficiel à cent milliers, et celle d'un poteau de six pouces en carré à 25 milliers.

Pour un poteau dont la hauteur serait de quinze fois la largeur de la base, il ne faut compter que quatre livres par ligne; et pour 20 fois, 3 livres seulement.

Dans l'usage ordinaire les charges sont beaucoup moins considérables, parce qu'il ne suffit pas, comme nous

l'avons déjà dit, qu'un poteau ait une étendue de base proportionnelle au fardeau qu'il a à soutenir; il faut de plus qu'il ait une stabilité convenable en raison de sa situation et de son isolement. Ce degré de stabilité porte le rapport du diamètre de la base avec la hauteur de sept à dix.

3°. *De la force des bois couchés.*

Toutes les expériences faites sur les bois couchés, c'est-à-dire, posés horizontalement selon leur longueur sur deux appuis, prouvent qu'à grosseur égale, leur force diminue en raison de leur portée, c'est-à-dire, de la distance entre les appuis.

Dans les bois de même longueur entre les appuis, la force est en raison de leur largeur et du carré de leur hauteur ou épaisseur verticale.

Expériences.

Une tringle en bois de chêne, de 2 pouces en carré de grosseur sur 24 pouces entre les appuis, s'est rompue sous une charge de 2304 livres; tandis qu'une autre, de même grosseur et de 18 pouces entre les appuis, a porté 3105 : d'où il résulte que la force de ces deux tringles est à-peu-près en raison inverse de leur longueur entre les appuis. Le rapport juste donnerait 18 : 24 :: 2304 : 3072, au lieu de 3105.

Autres expériences.

Une autre tringle en même bois, de deux pouces sur 3 pouces de grosseur, posée de champ, c'est-à-dire sur la face de 2 pouces de largeur, celle de 3 pouces étant d'aplomb sur deux appuis éloignés de 24 pouces, s'est rompue sous une charge de 5123.

Par l'expérience précédente, on a trouvé qu'une tringle de 2 pouces en carré, posée sur deux appuis éloignés de 24 pouces, a porté 2304. Pour que les forces de ces deux tringles fussent exactement comme le carré de leur hauteur, on devrait avoir 4 : 9 : : 2304 : 5184. C'est-à-dire qu'elle aurait dû porter 5134 au lieu de 5123. Cette différence, qui peut avoir une infinité de causes, n'empêche pas de reconnaître le rapport indiqué par la théorie.

Autre expérience.

Une autre tringle en même bois, de même dimension que la précédente, posée de plat, c'est-à-dire sur la face de 3 pouces de large, celle de 2 pouces étant d'aplomb et les appuis à même distance, s'est rompue sous un poids de 3475; d'où il resulte que les pièces de bois qui ont une même épaisseur verticale, ont une force qui est en raison de leur largeur : ainsi, en prenant pour point de comparaison la pièce de 2 pouces en carré qui a porté 2304, on aurait dû avoir 2 : 3 : : 2304 : 3356, au lieu de 3475,

Il résulte d'une infinité d'autres expériences et de calculs

faits pour trouver le rapport de la force absolue du bois de chêne, à celle qu'il a étant posé horizontalement sur deux appuis, que le moyen le plus simple est de multiplier la surface de la grosseur de la pièce par la moitié de sa force absolue, et de diviser le produit par le nombre de fois que son épaisseur verticale est contenue dans la longueur comprise entre les appuis.

Nous allons appliquer cette règle aux expériences rapportées par plusieurs auteurs : 1°. A celles faites par M. Bélidor sur des tringles en bois de chêne de 3 pieds de long entre les appuis, sur un pouce en carré. Le poids moyen sous lequel elles se sont rompues est de 187. Comme la force absolue pour chaque ligne superficielle varie de 90 à 102 livres, cette force moyenne serait de 96 livres, et de 48 pour la moitié, et la règle donnerait $\frac{144 \times 48}{6} = 192$ au lieu de 187.

Trois autres tringles de 2 pouces en carré sur même longueur entre les appuis se sont rompues sous un poids moyen de 1585 livres. La règle aurait donné $\frac{576 \times 48}{18} = 1536$.

Trois autres tringles de 20 à 28 lignes d'équarrissage, posées de champ, ont porté pour poids moyen 1660. Le calcul aurait donné $\frac{560 \times 48}{15\frac{1}{2}} = 1734$.

Les expériences faites par M. Parent, et un grand nombre d'autres que j'ai répétées, donnent des résultats qui s'accordent avec la méthode proposée. Mais comme ces expériences ont été faites sur des pièces de petites dimensions, nous avons pensé qu'il était avantageux d'en faire l'application aux grandes expériences de M. de Buffon; mais comme il résulte de ces expériences que

la force des bois de même grosseur posés horizontalement ne diminue pas exactement en raison de leur longueur, comme le suppose la théorie sur laquelle la règle précédente est fondée, nous avons cherché, pour la rendre plus conforme à l'expérience, à y faire quelques modifications qui n'en rendent pas l'application plus difficile.

Il résulte des expériences de M. de Buffon, qu'une solive une fois plus longue qu'une autre de même grosseur, ne porte pas la moitié du poids que soutiendrait la plus courte. Ainsi, on trouve qu'une solive de 7 pieds de longueur sur 5 pouces en carré de grosseur, s'est rompue sous une charge de. . . . . 11570 livres,

tandis qu'une autre de même grosseur sur 14 pieds de longueur, n'a pu porter que. . . 5388

et une troisième de 28 pieds de longueur, dont la grosseur était aussi de 5 pouces en carré, a porté, avant de se rompre, une charge de. 1756

En conservant le premier résultat, pour point de comparaison, l'application de la règle sans modification, donne pour 7 pieds 11570

Pour 14 pieds 5785

Pour 28 pieds 2892 $\frac{1}{2}$

Il résulte de cette différence, qu'on peut attribuer à la flexibilité du bois, que les forces de ces pièces, au lieu de former une progression géométrique décroissante, dont l'exposant est la même, en forment une dont l'exposant est variable, et que ces forces peuvent être représentées par les ordonnées d'une courbe, que nous avons reconnue être une espèce de chaînette.

OBSERVATIONS.

Il faut remarquer, relativement à la diminution de la force des bois, qu'elle doit être non-seulement proportionnée à leur longueur et grosseur, mais de plus modifiée en raison de leur force absolue ou primitive, et de leur flexibilité ; en sorte que des bois absolument de même qualité devraient donner des résultats qui suivent une même loi, de manière à former les ordonnées d'une courbe qui ne présente ni jarrets ni incorrections désagréables à la vue ; ainsi, dans les pièces dont les grosseurs et les longueurs forment une progression régulière, les défauts ne peuvent être causés que par une différence dans leur force primitive ; et comme cette force varie dans les pièces prises dans un même tronc d'arbre, il est impossible d'établir une règle qui donne des résultats qui s'accordent toujours avec l'expérience ; mais on peut, en prenant une force primitive moyenne, obtenir des résultats assez exacts pour l'usage ordinaire.

Prévenus que la force des pièces de bois posées horizontalement ne diminue pas précisément en raison de leur longueur entre les appuis, nous avons cherché, en comparant les résultats d'un très-grand nombre d'expériences faites sur le bois de chêne, à découvrir en quelle raison se fait cette diminution.

Il résulte de tous les essais que nous avons faits, que pour avoir cette diminution ou force relative, la règle la plus simple, et qui s'accorde le mieux avec l'expérience, est :

1°. D'ôter de la force primitive le tiers de la quantité qui exprime le nombre de fois que l'épaisseur verticale est contenue dans la longueur de la pièce entre les appuis.

2°. De multiplier le reste par le carré de la hauteur de la pièce ;

3°. De diviser le produit par le nombre qui exprime le rapport de l'épaisseur verticale à la longueur.

Ainsi, nommant la force primitive a
le nombre de fois que l'épaisseur verticale est contenue dans la longueur $= b$
l'épaisseur verticale de la pièce $= e$
sa longueur $= l$

on aura la formule générale $\frac{a - \frac{b}{3} \times ee}{b}$, qui se réduit à $\frac{aee}{b} - \frac{ee}{3}$. Supposant la force primitive $a = 59, 59$ pour une ligne carrée, on trouvera que pour une solive de 5 pouces en carré sur 18 pieds de longueur entre les appuis, ou 216 pouces, le rapport de l'épaisseur verticale à cette longueur sera exprimé par $\frac{216}{5} = 43, 2 = b$.

L'épaisseur verticale étant de 5 pouces ou 60 lignes, ee sera 3600 ; substituant ces valeurs dans la formule $\frac{a \times ee}{b} - \frac{ee}{3}$ on aura $\frac{59, 59 \times 3600}{43, 2} - \frac{3600}{3}$ qui donne, après avoir fait les calculs indiqués, $3765\frac{5}{6}$, au lieu de 3815 trouvé pour résultat moyen d'après les expériences de M. de Buffon, faites sur deux solives de mêmes dimensions que celle sur laquelle nous venons d'opérer. Mais comme la force primitive moyenne de ces solives était, d'après la deuxième table, de 60, 18 au lieu de 59, 59 que nous avons pris pour force moyenne de toutes les pièces indiquées dans cette table, nous avons dû trouver moins ; on trouvera même qu'en prenant pour la valeur de a de la formule 60, 18, on aura $\frac{60, 18 \times 3600}{43, 2} - \frac{3600}{2}$ qui donnera comme l'expérience 3815.

Les cinq tables qui suivent offrent une comparaison des résultats des expériences faites par M. de Buffon, sur des solives de 4, 6, 7 et 8 pouces de grosseur en carré sur différentes longueurs, avec ceux trouvés par notre règle modifiée.

La première colonne indique la longueur des pièces en pieds.

La seconde, le rapport de leur épaisseur verticale à leur longueur.

La troisième, le poids de chaque pièce en livres.

La quatrième, la flèche de leur courbure avant de se rompre.

La cinquième, la force absolue ou primitive, c'est-à-dire celle indépendante de leur longueur.

La sixième indique cette force réduite en raison du rapport de l'épaisseur verticale des pièces avec leur longueur, indiqué par la seconde colonne.

La septième indique les charges que les pièces ont portées avant de se rompre, indépendamment de leur poids.

La huitième indique l'effort moyen sous lequel les pièces se sont rompues, en y comprenant la moitié de leurs poids (l'autre moitié agissant sur les appuis).

La neuvième indique la force réduite des pièces en raison du rapport de leur épaisseur verticale à leur longueur, en supposant une force primitive égale pour toutes les pièces d'une même table.

Enfin la dixième indique les résultats du calcul d'après l'application de la règle que nous venons de proposer.

PREMIÈRE TABLE.

Expériences sur des pièces de bois carrées de 4 pouces de grosseur.

Longueur des pièces en pieds.	Rapport de la grosseur verticale à la longueur.	Poids des pièces en livres.	Flèche de la courbure	Force absolue (D'après l'expérience.)	Force relative (D'après l'expérience.)	Charge en livres.	Effort moyen d'après l'expér.	Force relative d'après le calcul, en supposant la force absolue de 55,68.	Poids pour rompre la pièce, calculé sur la force relative.
7	21	60 56	3 6 4 6	55 68	48 68	5350 5275	5341	48 68	5341
8	24	68 63	3 9 4 8	55 73	47 73	4600 4500	4583	47 68	4577
9	27	77 71	4 10 5 6	55 00	46 00	4100 3950	4062	46 68	3983
10	30	84 82	5 10 6 6	57 56	47 56	3625 3600	3654	45 68	3518
12	36	100 98	7 0 7 0	59 43	47 43	4050 2925	3036	43 68	2795

DEUXIÈME TABLE.

Expériences sur des pièces de bois carrées de 5 pouces de grosseur.

								Force absolue de 59,59.	
7	$16\frac{4}{5}$	94 $88\frac{1}{2}$	2 6 2 6	59 60	54 00	11775 11275	11570	53 99	11570
8	$19\frac{1}{5}$	104 102	8 2 11	58 87	52 47	9900 9675	9839	53 09	9954
9	$21\frac{3}{5}$	118 116 115	3 0 3 3 3 6	57 59	50 39	8400 8325 8200	8366	52 39	8731
10	24	132 130 $128\frac{1}{2}$	3 2 3 6 4 0	55 93	47 93	7225 7050 7100	7190	51 59	7738
12	$28\frac{4}{5}$	156 254	5 6 5 9	58 80	49 20	6050 6100	6152	49 99	6248
14	$33\frac{3}{5}$	178 176	8 0 8 3	61 50	50 30	5400 5200	5388	48 39	5185
16	$38\frac{2}{5}$	209 205	8 1 8 2	60 30	47 50	4425 4275	4454	46 79	4387
18	$43\frac{1}{5}$	232 231	8 0 8 2	60 18	45 78	3750 3650	3815	45 19	3765
20	48	263 259	8 10 10 0	60 74	44 74	3275 3175	3356	43 59	3269
22	$52\frac{4}{5}$	281	11 3	63 28	45 68	2975	3115	41 99	2863
24	$57\frac{3}{5}$	310 307	11 0 13 6	56 26	37 06	2200 2125	2317	40 39	2524
28	$67\frac{1}{5}$	364 360	18 0 22 0	58 72	36 33	1800 1750	1956	37 19	1922

TROISIÈME TABLE.

Expériences sur des pièces de bois carrées de 5 pouces de grosseur.

Longueur des pièces en pieds.	Rapport de la grosseur verticale à la longueur.	Poids des pièces en livres.	Flèche de la courbure.	Force absolue (D'après l'expérience.)	Force relative (D'après l'expérience.)	Charge en livres.	Effort moyen d'après l'expér.	Force relative d'après le calcul, en supposant la force absolue de 52,67.	Poids pour rompre la pièce, calculé sur la force relative.
7	14	128 126 1/2	2 0 2 0	55 96	51 30	19250 18650	19014	48 00	17774
8	16	149 146	2 4 2 5	53 47	48 14	15700 15350	15559	47 33	15335
9	18	166 164 1/2	2 6 2 10	51 94	45 94	13450 12850	13233	46 67	13469
10	20	188 186	3 0 3 6	50 21	43 57	11475 11025	11294	46 00	11923
12	24	224 221	4 0 4 1	50 64	42 64	9200 9000	9211	44 67	9648
14	28	255 254	4 6 4 2	50 33	41 00	7450 7500	7602	43 34	8024
16	32	294 293	5 6 5 10	50 83	40 17	6250 6475	6509	42 00	6804
18	36	334 331	7 5 8 6	51 78	39 78	5625 5500	5729	40 67	5853
20	40	377 375	9 6 8 10	52 58	39 25	5025 4875	5088	39 34	5098

QUATRIÈME TABLE.

Expériences sur des pièces de bois carrées de 7 pouces de grosseur.

								Force absolu de 53,57.	
8	13 5/7	204 201 1/2	2 9 2 6	55 39	50 82	26150 25950	26151	49 00	25210
9	15 3/7	227 225	3 1 2 11	54 25	49 11	22800 21900	22463	48 09	21996
10	17 1/7	254 252	2 7 3 0	53 33	47 62	19650 19300	19601	47 85	19663
12	20 4/7	302 301	2 11 3 4	54 45	47 60	16800 15550	16327	46 75	16035
14	24	351 351	4 2 3 9	53 57	45 57	13600 12850	13400	45 57	13398
16	27 3/7	406 403	4 10 5 3	52 72	43 58	11100 10900	11202	44 43	11429
18	30 6/7	454 454	5 6 5 10	52 49	42 21	9450 9400	9652	43 30	9901
20	34 2/7	505 500	7 10 8 6	52 86	41 43	8550 8000	8526	42 14	8673

CINQUIÈME TABLE.

Expériences sur des pièces de bois carrées de 8 pouces de grosseur.

Longueur des pièces en pieds.	Rapport de la grosseur verticale à la longueur.	Poids des pièces en livres.	Flèche de la courbure.	Force absolue (D'après l'expérience.)	Force relative (D'après l'expérience.)	Charge en livres.	Effort moyen d'après l'expér.	Force relative d'après le calcul, en supposant la force absolue de 51.	Poids pour rompre la pièce, calculé sur la force relative.
10	15	331 331	3 0 2 3	50 43	45 43	27800 27700	27915	46	28262
12	18	397 395 ½	3 0 2 11	52 18	46 18	23900 23000	23648	45	23040
14	21	461 459	3 10 3 2	52 58	45 58	20050 19500	20005	44	19309
16	24	528 524	5 2 5 9	51 32	43 32	16800 15950	16638	43	16512
18	27	594 593	4 6 4 1	48 54	39 54	13500 12900	13497	42	14336
20	30	664 660	6 6 6 0	50 09	40 09	11775 12200	12318	41	12595

Pour donner une idée de la manière de représenter la plus grande force des bois de même grosseur, et de différentes longueurs par les ordonnées d'une courbe, nous avons exprimé par ce moyen, dans la figure 1, planche II, celle qui résulte des expériences de M. de Buffon, indiquées dans la seconde table.

Les ordonnées du polygone M, L, K, I, H, G, F, E, D, C, B, A, indiquent les résultats des expériences faites sur des solives de 5 pouces en carré de grosseur et de différentes longueurs, dont la force primitive variait pour chaque pièce.

Les ordonnées de la courbe régulière M, *l*, *k*, *i*, *h*, *g*, *f*, *e*, *d*, *c*, *b*, A, indiquent les résultats des calculs

faits d'après la règle proposée, en supposant une même force primitive pour chaque pièce.

Il est facile de concevoir, d'après ce que nous avons dit ci-devant page 75, que les forces primitives inégales doivent former un polygone irrégulier, dont chaque point répondrait à une courbe différente; tandis qu'en supposant une même force primitive pour chaque pièce, il doit en résulter un accord entre les forces et les dimensions qui forment une courbe régulière.

Ainsi, il faut remarquer que les points L et K du polygone irrégulier ne s'écartent de la courbe régulière M, *l*, *k*, que parce que l'ordonnée O L est le produit d'une force primitive moindre que la force primitive moyenne qui a produit l'ordonnée O l de la courbe. C'est pourquoi le point L se trouve au-dessus du correspondant *l*.

Par la même raison, on peut dire que le point K est au-dessus de son correspondant *k*, parce que l'ordonnée K P qui y répond, est le produit d'une force primitive plus grande que la moyenne qui a produit le point K.

En consultant la seconde table, on trouvera que la force primitive qui répond au point L, n'est que de 56,26, et la valeur de l'ordonnée 2317, tandis que celle du point K est de 63,28, et la valeur de l'ordonnée K P de 3115; et comme les ordonnées *l* O, K P, correspondantes à la courbe, sont calculées d'après une même force primitive de 59,60, qui donne pour *l* O 2524, et 2863 pour K P, il en résulte qu'en considérant ces deux quantités comme des parties égales d'une même échelle, le point K du polygone doit s'élever au-dessus du point correspondant K de la courbe, de 339 de ces parties.

Pour rendre nos recherches utiles, nous avons calculé les autres tables qui suivent, par le moyen desquelles on pourra connaître la plus grande force des solives, depuis 3 pouces de grosseur jusqu'à celle des poutres de 30 pouces en carré, depuis six fois leur épaisseur verticale en longueur jusqu'à 30.

Chacune de ces tables comprend quatre colonnes.

La première indique les longueurs en pieds de roi ou en pieds métriques;

La deuxième, le rapport de l'épaisseur verticale de chaque pièce avec sa longueur entre les appuis;

La troisième, la plus grande force de chaque pièce exprimée en livres.

La quatrième exprime en kilogrammes la plus grande force des pièces; en supposant leurs dimensions en pieds et pouces métriques, il résulte de la combinaison des pieds et pouces métriques avec les kilogrammes, que ces résultats sont à très-peu de chose près la moitié de l'expression en livres de la colonne précédente, plus un vingtième de l'ancien poids de Paris. Ainsi la plus grande force d'une solive de 8 pouces en carré, sur 18 pieds de longueur entre les appuis, étant de 15527 livres, celle d'une solive de même grosseur et longueur, exprimée en pieds et pouces métriques, sera de 8151 kilogrammes.

Les calculs ont été faits sur les pieds, pouces et livres anciens. On s'est contenté, pour la colonne en kilogrammes, de prendre les $\frac{11}{20}$ de celle en livres. Pour avoir un résultat juste, il faut, pour cet exemple, multiplier la force 15527 livres par 1052676, et diviser le produit par 1000000. On trouvera 16344 livres pour la force de la pièce exprimée en pieds et pouces métriques, qui

donnent une superficie de grosseur plus grande que celle exprimée en anciens pieds dans le rapport de 1052676 à 1000000. Réduisant cette dernière force de 16344 en kilogrammes, on trouvera 8000 kilogrammes 364 grammes, au lieu de 8151. L'expérience donne des résultats qui varient, tant qu'on doit regarder cette différence comme nulle, d'autant plus qu'elle diminue en raison de ce que les pièces sont plus grosses.

De plus, pour que ces pièces de bois soient dans le cas de résister solidement à tous les efforts qu'elles peuvent avoir à soutenir, il faut que leur charge soit beaucoup moindre que celle sous laquelle elles s'écrasent. Des recherches faites à ce sujet ont fait connaître que, dans l'usage ordinaire, cette charge n'est qu'environ le dixième de celle indiquée dans ces tables, et qu'une plus forte peut compromettre la solidité; d'où il résulte que, pour se conformer à l'usage justifié par l'expérience, il n'y a qu'à supprimer le dernier chiffre de l'expression indiquée dans les tables. Ainsi, pour l'exemple précédent au lieu de prendre 15527 livres ou 8151 kilogrammes, on ne prendra que 1552 livres ou 815 kilogrammes.

Il faut remarquer que cette charge est supposée réunie au milieu de la portée des solives, et qu'elle équivaut à une charge double qui serait répartie dans toute la longueur.

TABLE

Indiquant la plus grande force des bois posés horizontalement, exprimée en livres et kilogrammes, en raison de leurs dimensions en pieds de Paris et pieds métriques.

Pièces de 3 po. sur 3 po.			
Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
1 6	6	11338	5952
1 9	7	9657	5069
2 0	8	8395	4407
2 3	9	7414	3887
2 6	10	6633	3481
2 9	11	5988	3143
3 0	12	5453	2862
3 3	13	5000	2625
3 6	14	4612	2421
3 9	15	4575	2401
4 0	16	3982	2090
4 3	17	3722	1954
4 6	18	3491	1832
4 9	19	3285	1724
5 0	20	3099	1626
5 3	21	2931	1538
5 6	22	2778	1453
5 9	23	2638	1384
6 0	24	2510	1317
6 3	25	2393	1055
6 6	26	2284	1199
6 9	27	2183	1145
7 0	28	2090	1097
7 3	29	2003	1051
7 6	30	1922	1009

Pièces de 3 po. sur 4 po.			
2 0	6	15117	7935
2 4	7	12876	6759
2 8	8	11195	5876
3 0	9	9886	5190
3 4	10	8840	4641
3 8	11	7984	4191
pi. po.			
4 0	12	7270	3816
4 4	13	6667	3499
4 8	14	6150	3176
5 0	15	5701	2992
5 4	16	5309	2786
5 8	17	4963	2605
6 0	18	4655	2443
6 4	19	4380	2299
6 8	20	4132	2169
7 0	21	3907	2050
7 4	22	3704	1944
7 8	23	3518	1841
8 0	24	3347	1756
8 4	25	3190	1674
8 8	26	3045	1598
9 0	27	2911	1527
9 4	28	2787	1462
9 8	29	2671	1401
10 0	30	2562	1345

Pièces de 3 po. sur 5 po.			
2 6	6	18896	9920
2 11	7	16095	8449
3 4	8	13990	7344
3 9	9	12357	6486
4 2	10	11050	5801
4 7	11	9981	5239
5 0	12	9088	4771
5 5	13	8334	4375
5 10	14	7688	4036
6 3	15	7126	3741
6 8	16	6636	3483
7 1	17	6077	3189
pi. po.			
7 6	18	5818	3054
7 11	19	5685	2984
8 4	20	5165	2711
8 9	21	4884	2564
9 2	22	4639	2434
9 7	23	4397	2307
10 0	24	4184	2196
10 5	25	3988	2093
10 10	26	3807	1998
11 3	27	3639	1909
11 8	28	3483	1828
12 1	29	3339	1752
12 6	30	3203	1681

Pièces de 3 po. sur 6 po.			
3 0	6	22675	11903
3 6	7	19314	10139
4 0	8	16793	8815
4 6	9	14829	7784
5 0	10	13260	6961
5 6	11	11977	6287
6 0	12	10906	5725
6 6	13	10001	5250
7 0	14	9225	4842
7 6	15	8552	4489
8 0	16	7964	4181
8 6	17	7445	3908
9 0	18	6982	3665
9 6	19	6570	3449
10 0	20	6198	3253
10 6	21	5861	3076
11 0	22	5556	2916
11 6	23	5288	2770

Pièces de 3 po. sur 6 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
1	0	24	5020	2635
1	6	25	4786	2512
1	0	26	4569	2398
13	6	27	4367	2292
14	0	28	4180	2194
14	6	29	4007	2103
15	0	30	3843	2017

Pièces de 4 po. sur 4 po.

2	0	6	20156	10581
2	4	7	17168	9013
2	8	8	15092	7836
3	0	9	13181	6919
3	4	10	11787	6187
3	8	11	10701	5617
4	0	12	9694	5089
4	4	13	8889	4666
4	8	14	8200	4305
5	0	15	7601	3990
5	4	16	7079	3715
5	8	17	6617	3473
6	0	18	6206	3258
6	4	19	5840	3066
6	8	20	5510	2892
7	0	21	5210	2735
7	4	22	4938	2592
7	8	23	4691	2462
8	0	24	4463	2342
8	4	25	4254	2233
8	8	26	4061	2131
9	0	27	3881	2037
9	4	28	3716	1950
9	8	29	3561	1869
10	0	30	3413	1791

Pièces de 4 po. sur 5 po.

2	6	6	25195	13226
2	11	7	21460	11266
3	4	8	18659	9795
3	9	9	16476	8649
4	2	10	14734	7735
4	7	11	13308	6986
5	0	12	12117	6361
5	5	13	11112	5833
5	10	14	10251	5381
6	3	15	9502	4988
6	8	16	8849	4645
7	1	17	8272	4342
7	6	18	7758	4072
7	11	19	7300	3832
8	4	20	6887	3613
8	9	21	6513	3418
9	2	22	6174	3188
9	7	23	5864	3078
10	0	24	5577	2927
10	5	25	5318	2786
10	10	26	5076	2664
11	3	27	4852	2547
11	8	28	4645	2438
12	2	29	4452	2337
12	6	30	4271	2236

Pièces de 4 po. sur 5 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	.			
3	9	9	16476	8649
4	2	10	14734	7735
4	7	11	13308	6986
5	0	12	12117	6361
5	5	13	11112	5833
5	10	14	10251	5381
6	3	15	9502	4988
6	8	16	8849	4645
7	1	17	8272	4342
7	6	18	7758	4072
7	11	19	7300	3832
8	4	20	6887	3613
8	9	21	6513	3418
9	2	22	6174	3188
9	7	23	5864	3078
10	0	24	5577	2927
10	5	25	5318	2786
10	10	26	5076	2664
11	3	27	4852	2547
11	8	28	4645	2438
12	2	29	4452	2337
12	6	30	4271	2236

Pièces de 4 po. sur 6 po.

3	0	6	30234	15872
3	6	7	25752	13519
4	0	8	22390	11754
4	6	9	19772	10380
5	0	10	17680	9282
5	6	11	15970	8384
6	0	12	14541	7633
6	6	13	13334	7000
7	0	14	12300	6457
7	6	15	11402	5986
8	0	16	10618	5574
8	6	17	9926	5211
9	0	18	9310	4887
9	6	19	8760	4599
10	0	20	8263	4338
10	6	21	7815	4102

Pièces de 4 po. sur 6 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi.	po.			
11	0	22	7408	3889
11	6	23	7036	3693
12	0	24	6694	3514
12	6	25	6381	3349
13	0	26	6092	3198
13	6	27	5822	3056
14	0	28	5574	2926
14	6	29	5342	2804
15	0	30	5125	2690

Pièces de 4 po. sur 7 po.

3	6	6	35273	18517
4	1	7	30044	15773
4	8	8	26133	13719
5	3	9	23067	12109
5	10	10	20627	10828
6	5	11	18631	9780
7	0	12	16964	8906
7	7	13	15557	8166
8	2	14	14351	7533
8	9	15	13302	6983
9	4	16	12388	6503
9	11	17	11580	6079
10	6	18	10861	5701
11	1	19	10220	5365
11	8	20	9642	5062
12	3	21	9118	4786
12	10	22	8643	4537
13	5	23	8209	4309
14	0	24	7810	4100
14	7	25	7444	3908
15	2	26	7107	3730
15	9	27	6793	3565
16	4	28	6503	3413
16	11	29	6232	3271
17	6	30	5979	3138

Pièces de 4 po. sur 8 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
4 0	6	40312	21163
4 8	7	34336	18026
5 4	8	29854	15673
6 0	9	26361	13839
6 8	10	23574	12376
7 4	11	21293	11178
8 0	12	19388	10178
8 8	13	17241	9051
9 4	14	16401	8820
10 0	15	15201	7980
10 8	16	14158	7432
11 4	17	13235	6947
12 0	18	12417	6518
12 8	19	11627	6103
13 4	20	11020	5785
14 0	21	10420	5470
14 8	22	9877	5184
15 4	23	9382	4925
16 0	24	8926	4686
16 8	25	8508	4466
17 4	26	8122	4264
18 0	27	7763	4075
18 8	28	7432	3901
19 4	29	7126	3741
20 0	30	6833	3586

Pièces de 5 po. sur 5 po.

2 6	6	31494	16534
2 11	7	26825	14082
3 4	8	23323	12244
3 9	9	20596	10812
4	10	18417	9668
4	11	16544	8685
5 0	12	15147	7951
5 5	13	13890	7292
5 10	14	12814	6727
6 3	15	11877	6234
6 8	16	11061	5806
7 1	17	10340	5428

Pièces de 5 po. sur 5 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
7 6	18	9697	5090
7 11	19	9125	4790
8 4	20	8609	4519
8 9	21	8169	4288
9 2	22	7717	4050
9 7	23	7329	3847
10 0	24	6973	3660
10 5	25	6647	3489
10 10	26	6345	3330
11 3	27	6065	3183
11 8	28	5806	3048
12 1	29	5565	2921
12 6	30	5338	2802

Pièces de 5 po. sur 6 po.

3 0	6	37793	19840
3 6	7	32190	16899
4 0	8	27988	14693
4 6	9	23604	12392
5 0	10	22101	11602
5 6	11	19689	10336
6 0	12	18176	9542
6 6	13	16645	8738
7 0	14	15161	7959
7 6	15	14253	7482
8 0	16	13235	6947
8 6	17	12408	6514
9 0	18	11637	6108
9 6	19	10950	5748
10 0	20	10331	5423
10 6	21	9767	5127
11 0	22	9260	4861
11 6	23	8795	4616
12 0	24	8368	4393
12 6	25	7976	4187
13 0	26	7614	3997
13 6	27	7278	3820
14 0	28	6967	3657
14 6	29	6674	3503
15 0	30	6406	3363

Pièces de 5 po. sur 7 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
3 6	6	44091	23147
4 1	7	37555	19715
4 8	8	32653	17142
5 3	9	28834	15137
5 10	10	25784	13536
6 5	11	23289	12226
7 0	12	21205	11132
7 7	13	19448	10210
8 2	14	17938	19417
8 9	15	16628	8729
9 4	16	15485	8129
9 11	17	14476	7599
10 6	18	13577	7127
11 1	19	12775	6706
11 8	20	12053	6327
12 3	21	11349	5957
12 10	22	10803	5671
13 5	23	10261	5386
14 0	24	9763	5125
14 7	25	9305	4884
15 2	26	8884	4664
15 9	27	8491	4457
16 4	28	8128	4267
16 11	29	7784	4096
17 6	30	7474	3923

Pièces de 5 po. sur 8 po.

4 0	6	50390	26454
4 8	7	42920	22533
5 4	8	37317	19590
6 0	9	32953	17299
6 8	10	29468	15470
7 4	11	26616	13973
8 0	12	24235	12722
8 8	13	22224	11667
9 4	14	20501	10762
10 0	15	19004	9927
10 8	16	17691	9287
11 4	17	16544	8685

Pièces de 5 po. sur 8 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
12	0	18	15516	8145
12	8	19	14619	7674
13	4	20	13775	7231
14	0	21	13121	6888
14	8	22	12347	6481
15	4	23	11722	6154
16	0	24	11157	5856
16	8	25	10635	5882
17	4	26	11053	5329
18	0	27	9682	5083
18	8	28	9290	4877
19	4	29	8904	4674
20	0	30	8542	4484

Pièces de 5 po. sur 9 po.

4	6	6	56689	29761
5	3	7	48285	25349
6	0	8	41982	22040
6	9	9	37072	19462
7	6	10	33151	17403
8	3	11	29943	15719
9	0	12	27264	14313
9	9	13	25003	13126
10	6	14	23064	12108
11	3	15	21379	11223
12	0	16	19901	10447
12	9	17	18613	9771
13	6	18	17456	9164
14	3	19	16425	8622
15	0	20	15497	8130
15	9	21	14654	7693
16	6	22	13891	7292
17	3	23	13194	6926
18	0	24	12552	6589
18	9	25	11964	6281
19	6	26	11422	5996
20	3	27	10917	5730
21	0	28	10451	5486
21	9	29	10017	5258
22	6	30	9609	4848

Pièces de 5 po. sur 10 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
5	0	6	62988	33068
5	10	7	53650	28166
6	8	8	46647	24489
7	6	9	41192	21625
8	4	10	36835	19337
9	2	11	33270	17466
10	0	12	30294	15904
10	10	13	27781	14584
11	8	14	25627	13453
12	6	15	23755	12470
13	4	16	22122	11614
14	2	17	20681	10857
15	0	18	19396	10182
15	10	19	18250	9581
16	8	20	17218	9039
17	6	21	16282	8548
18	4	22	15434	8102
19	2	23	14659	7695
20	0	24	13947	7321
20	10	25	13294	6979
21	8	26	12691	6662
22	6	27	12130	6368
23	4	28	11612	6096
24	2	29	11130	5843
25	0	30	10677	5604

Pièces de 6 po. sur 6 po.

3	0	6	45351	23808
3	6	7	38628	20279
4	0	8	33585	17631
4	6	9	29658	15670
5	0	10	26521	13923
5	6	11	23954	12575
6	0	12	21811	11450
6	6	13	20002	10501
7	0	14	18451	9686
7	6	15	17170	9329
8	0	16	15927	8361
8	6	17	14890	7817
9	0	18	13965	7331

Pièces de 6 po. sur 6 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
9	6	19	13140	6898
10	0	20	12397	6507
10	6	21	11723	6154
11	0	22	11112	5833
11	6	23	10555	5540
12	0	24	10041	5271
12	6	25	9571	5024
13	0	26	9127	4791
13	6	27	8734	4585
14	0	28	8361	4389
14	6	29	8013	4206
15	0	30	7897	4035

Pièces de 6 po. sur 7 po.

3	6	6	52909	27776
4	1	7	45066	23659
4	8	8	39183	20570
5	3	9	34601	18165
5	10	10	30941	16243
6	5	11	27855	14623
7	0	12	25446	13359
7	7	13	23335	12250
8	2	14	21522	11299
8	9	15	19954	10475
9	4	16	18582	9755
9	11	17	17372	9120
10	6	18	16282	8553
11	1	19	15856	8324
11	8	20	14464	7593
12	3	21	13673	7177
12	10	22	12969	6808
13	5	23	12314	6464
14	0	24	11715	6149
14	7	25	11167	5862
15	2	26	10622	5576
15	9	27	10182	5345
16	4	28	9754	5120
16	11	29	9349	4907
17	6	30	8952	4699

Pièces de 6 po. sur 8 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
4	0	6	60468	31745
4	8	7	51504	27039
5	4	8	44781	23509
6	0	9	39544	20760
6	8	10	35332	18544
7	4	11	31939	16767
8	0	12	29082	15368
8	8	13	26669	14000
9	4	14	25316	13290
10	0	15	22871	12006
10	8	16	21237	11148
11	4	17	19853	10422
12	0	18	18620	9775
12	8	19	17520	9198
13	4	20	16530	8678
14	0	21	15626	8158
14	8	22	14816	6778
15	4	23	14073	7387
16	0	24	13389	7028
16	8	25	12762	6700
17	4	26	12183	5395
18	0	27	11645	6113
18	8	28	11505	6039
19	4	29	10685	5609
20	0	30	10250	5381

Pièces de 6 po. sur 9 po.

4	6	6	67043	35722
5	3	7	57942	30419
6	0	8	50378	26448
6	9	9	44487	23345
7	6	10	39782	20885
8	3	11	35932	18864
9	0	12	32717	17175
9	9	13	30003	15751
10	6	14	27677	14529
11	3	15	25655	13468
12	0	16	23881	12987
12	9	17	22335	10720
13	6	18	20947	10996

Pièces de 5 po. sur 9 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
14	3	19	19710	10347
15	0	20	18596	9162
15	9	21	17604	9242
16	6	22	16669	8750
17	3	23	15832	8321
18	0	24	15062	7907
18	9	25	14756	7746
19	6	26	13706	7395
20	3	27	13101	6877
21	0	28	12541	6573
21	9	29	12019	6209
22	6	30	11531	6053

Pièces de 6 po. sur 10 po.

5	0	6	75585	39681
5	10	7	64380	34849
6	8	8	55876	29331
7	6	9	49130	25950
8	4	10	44202	23206
9	2	11	39924	20960
10	0	12	36353	19084
10	10	13	33337	17501
11	8	14	30752	16144
12	6	15	28506	14965
13	4	16	26546	13939
14	2	17	24817	13028
15	0	18	23275	12168
15	10	19	21958	11527
16	8	20	20662	10848
17	6	21	19358	10162
18	4	22	18521	9723
19	2	23	17592	9235
20	0	24	16736	8786
20	10	25	15953	8374
21	8	26	15229	7994
22	6	27	14556	7641
23	4	28	13935	7315
24	2	29	13397	7137
25	0	30	12813	6726

Pièces de 6 po. sur 11 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
5	6	6	83144	43650
6	5	7	70818	37179
7	4	8	61574	32326
8	3	6	54373	28545
9	2	10	48622	25526
10	1	11	43917	23055
11	0	12	39988	20993
11	11	13	36671	19251
12	10	14	33827	17758
13	9	15	31357	16461
14	8	16	29201	15330
15	7	17	27295	14329
16	6	18	25603	13441
17	5	19	24090	12647
18	4	20	22728	11932
19	3	21	21493	11283
20	2	22	20373	10695
21	1	23	19334	10150
22	0	24	18410	9665
22	11	25	17548	9212
23	10	26	16752	8791
24	9	27	16016	8408
25	8	28	15328	8047
26	7	29	14691	7712
27	6	30	14094	7399

Pièces de 6 po. sur 12 po.

6	0	6	90702	47618
7	0	7	77256	40559
8	0	8	67171	35264
9	0	9	59316	31160
10	0	10	53042	27848
11	0	11	47927	25161
12	0	12	43623	22901
13	0	13	40004	21002
14	0	14	36902	19383
15	0	15	34207	17958
16	0	16	31856	16724
17	0	17	29780	15634
18	0	18	27930	14663

Pièces de 6 po. sur 12 po.			
Longu. des pièce.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
19 0	19	26312	13813
20 0	20	24740	12988
21 0	21	23494	12334
22 0	22	22225	11667
23 0	23	21110	11082
24 0	24	20083	10543
25 0	25	19143	10049
26 0	26	18275	9543
27 0	27	17461	9166
28 0	28	16722	8779
29 0	29	16165	8486
30 0	30	15375	8071

Pièces de 7 po. sur 7 po.			
3 6	6	61728	32407
4 1	7	52721	27678
4 8	8	45390	23829
5 3	9	40357	21186
5 10	10	33098	17376
6 5	11	31786	16687
7 0	12	29621	15550
7 7	13	27225	14292
8 2	14	25114	13184
8 9	15	22800	11970
9 4	16	21679	11486
9 11	17	20326	10671
10 6	18	19009	9989
11 1	19	17889	9391
11 8	20	16874	8858
12 3	21	15956	8376
12 10	22	15125	7940
13 5	23	14370	7544
14 0	24	13668	7175
14 7	25	13028	6839
15 2	26	12441	6531
15 9	27	11888	6241
16 4	28	11701	6142
16 11	29	10907	5725
17 6	30	10130	5318

Pièces de 7 po. sur 8 po.			
Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
4 0	6	70546	37036
4 8	7	60088	31546
5 4	8	52244	27428
6 0	9	46135	24220
6 8	10	41275	21668
7 4	11	37263	19562
8 0	12	33929	17812
8 8	13	31114	16334
9 4	14	27987	14692
10 0	15	26615	13967
10 8	16	24776	13007
11 4	17	23162	12160
12 0	18	22278	11685
12 8	19	20440	10731
13 4	20	19285	10074
14 0	21	18231	9570
14 8	22	17286	9075
15 4	23	16419	8619
16 0	24	15620	8200
16 8	25	14489	7606
17 4	26	14276	7494
18 0	27	13586	7132
18 8	28	13006	6828
19 4	29	12465	6543
20 0	30	11958	6277

Pièces de 7 po. sur 9 po.			
4 6	6	79366	41667
5 3	7	67599	35488
6 0	8	58775	30856
6 9	9	51901	27247
7 6	10	46412	24366
8 3	11	41829	21959
9 0	12	38170	20039
9 9	13	35004	18377
10 6	14	33004	17327
11 3	15	29932	15714
12 0	15	27873	14632
12 9	17	26058	13680
13 6	18	24439	12829

Pièces de 7 po. sur 9 po.			
Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
14 3	19	22995	12071
15 0	20	21696	11398
15 9	21	20515	10769
16 6	22	19447	10209
17 3	23	18471	9696
18 0	24	17573	9225
18 9	25	16350	8583
19 6	26	15991	8394
20 3	27	15284	8024
21 0	28	14632	7681
21 9	29	14024	7362
22 6	30	13454	7063

Pièces de 7 po. sur 10 po.			
5 0	6	88182	46295
5 10	7	75110	59432
6 8	8	65305	34284
7 6	9	57668	30275
8 4	10	51509	27073
9 2	11	46597	24462
10 0	12	42411	22265
10 10	13	38893	20418
11 8	14	35877	18834
12 6	15	33257	17459
13 4	16	30971	16269
14 2	17	28953	15199
15 0	18	27154	14255
15 10	19	25550	13413
16 8	20	24206	12708
17 6	21	22795	11966
18 4	22	21607	11343
19 2	23	20323	10774
20 0	24	19525	10250
20 10	25	18611	9770
21 8	26	17721	9303
22 6	27	16983	8915
23 4	28	16257	8534
24 2	29	15999	8188
25 0	30	14948	7847

Pièces de 7 po. sur 11 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
5	6	6	97001	50925
6	5	7	82621	44375
7	4	8	71832	37711
8	3	9	63435	33302
9	2	10	56726	29781
10	1	11	51260	26911
11	0	12	46652	24492
11	11	13	42790	22464
12	10	14	39465	29718
13	9	15	36583	19205
14	8	16	34067	17884
15	7	17	31789	16688
16	6	18	29369	15418
17	5	19	27931	14663
18	4	20	26516	13920
19	3	21	25078	13165
20	2	22	23814	12502
21	1	23	22576	11852
22	0	24	21478	11275
22	11	25	20473	10747
23	10	26	19544	10260
24	9	27	18681	9807
25	8	28	17526	9201
26	7	29	17140	8998
27	6	30	16443	8632

Pièces de 7 po. sur 12 po.

6	0	6	105819	55654
7	0	7	90132	47319
8	0	8	78491	41207
9	0	9	69202	36331
10	0	10	61883	32488
11	0	11	55894	29344
12	0	12	50893	26718
13	0	13	46672	24502
14	0	14	43053	22602
15	0	15	40575	21301
16	0	16	39165	19511
17	0	17	34738	18237
18	0	18	32585	17106

Pièces de 7 po. sur 12 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
19	0	19	30660	16096
20	0	20	28927	15186
21	0	21	27782	14585
22	0	22	25929	13612
23	0	23	24628	12929
24	0	24	23431	12300
25	0	25	22334	11725
26	0	26	21359	11212
27	0	27	20379	10698
28	0	28	19509	10241
29	0	29	18698	9816
30	0	30	17938	9417

Pièces de 7 po. sur 13 po.

6	6	6	114638	60184
7	7	7	97643	51262
8	8	8	84897	44570
9	9	9	74967	39357
10	10	10	67040	35197
11	11	11	60552	31789
13	0	12	55135	28943
14	1	13	50561	26544
15	2	14	46640	24486
16	3	15	43234	22697
17	4	16	40262	21137
18	5	17	37639	19759
19	6	18	35300	18532

Pièces de 7 po. sur 14 po.

7	8	6	123456	64814
8	2	7	105154	55205
9	4	8	91428	47999
10	6	9	80736	42386
11	8	10	72196	37902
12	10	11	65210	34235
14	0	12	58543	30734
15	2	13	54527	28626

Pièces de 7 po. sur 14 po.

Longu. des Pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
16	4	14	50228	26369
17	6	15	46553	24439
18	8	16	43359	22762
19	10	17	40534	21280
21	0	18	38016	19958

Pièces de 8 po. sur 8 po.

4	0	6	80624	42327
4	8	7	68672	36052
5	4	8	59708	31346
6	0	9	52725	27680
6	8	10	47149	24752
7	4	11	42586	22357
8	0	12	38776	19357
8	8	13	35559	18667
9	4	14	32802	17221
10	0	15	30406	15963
10	8	16	28316	14865
11	4	17	26171	13739
12	0	18	24826	13033
12	8	19	23860	12526
13	4	20	22040	11571
14	0	21	20841	10941
14	8	22	19755	10370
15	4	23	18764	9851
16	0	24	17852	9372
16	8	25	17016	8933
17	4	26	16245	8528
18	0	27	15527	8157
18	8	28	14864	7803
19	4	29	14246	7479
20	0	30	13667	7174

Pièces de 8 po. sur 9 po.

4	6	6	90702	47618
5	3	7	77256	40559
6	0	8	67171	35264
6	9	9	59316	31140
7	6	10	53042	27847

Pièces de 8 po. sur 9 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po			
8	3	11	47909	25151
9	0	12	43623	22901
9	9	13	40004	21002
10	6	14	36902	19373
11	3	15	34207	17958
12	0	16	31855	16775
12	9	17	29780	15634
13	6	18	27930	14663
14	3	19	26280	13797
15	0	20	24790	13014
15	9	21	23446	12309
16	6	22	22225	11667
17	3	23	21110	11082
18	0	24	20083	10543
18	9	25	19143	10047
20	6	26	18275	9593
21	3	27	17468	9170
22	0	28	16722	8779
22	9	29	16027	8413
23	6	30	15375	8071

Pièces de 8 po. sur 10 po.

5	0	6	100780	53909
5	10	7	85840	45066
6	8	8	74635	39182
7	6	9	65907	34600
8	4	10	58936	30941
9	2	11	53233	27946
10	0	12	48470	25446
10	10	13	44449	23335
11	8	14	41003	21526
12	6	15	38008	19954
13	4	16	35395	18581
14	2	17	33089	17371
15	0	18	31033	16291
15	10	19	29200	15330
16	8	20	27550	14463
17	6	21	26051	13676
18	4	22	24694	12954
19	2	23	23455	12313

Pièces de 8 po. sur 10 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
20	0	24	22315	11714
20	10	25	21270	11166
21	8	26	20306	10660
22	6	27	19409	10189
23	4	28	18580	9754
24	2	29	17808	9349
25	0	30	17078	8965

Pièces de 8 po. sur 11 po.

5	6	6	110858	58200
6	5	7	95567	50172
7	4	8	82098	43101
8	3	9	72498	38061
9	2	10	64829	34034
10	1	11	58556	31741
11	0	12	53317	27990
12	10	13	48894	25669
12	10	14	45103	23678
13	9	15	41809	21949
14	8	16	38934	20965
15	7	17	36392	19105
16	6	18	34137	17921
17	5	19	32120	16863
18	4	20	30305	15909
19	3	21	28604	15019
20	2	22	27164	14261
21	1	23	25801	13545
22	0	24	24090	12647
22	11	25	23397	12282
23	10	26	22337	11726
24	9	27	21201	11130
25	8	28	20438	10729
26	7	29	19589	10283
28	4	30	18792	9865

Pièces de 8 po. sur 12 po.

6	0	6	120937	63491
7	0	7	103008	54079
8	0	8	89562	47020

Pièces de 8 po. sur 12 po.

Loogu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
9	0	9	79088	41521
10	0	10	70723	37129
11	0	11	63876	33535
12	0	12	58164	31536
13	0	13	57185	30021
14	0	14	49203	25831
15	0	15	45609	23944
16	0	16	42474	22298
17	0	17	39707	20845
18	0	18	37240	19551
19	0	19	35040	18396
20	0	20	33060	17356
21	0	21	31262	16412
22	0	22	29633	15556
23	0	23	28146	14776
24	0	24	26778	14058
25	0	25	25524	13400
26	0	26	24367	12792
27	0	27	23254	12208
28	0	28	23010	12080
29	0	29	21279	11170
30	0	30	20508	10766

Pièces de 8 po. sur 13 po.

6	6	6	131015	68782
8	9	7	111592	58585
10	0	8	97025	50937
11	3	9	85679	44980
12	6	10	76617	40223
13	9	11	69202	36331
15	0	12	63011	33080
16	3	13	57784	30336
17	6	14	53311	27987
18	9	15	49344	25905
20	0	16	45951	24123
21	3	17	43016	22583
22	6	18	40399	21208

Pièces de 8 po. sur 14 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
7	0	6	141093	74073
8	2	7	120176	63092
9	4	8	103008	54876
10	6	9	92270	48441
11	8	10	82510	43317
12	10	11	74526	39126
14	0	12	6-858	35625
15	2	13	66229	34769
16	4	14	57404	30137
17	6	15	53211	27935
18	8	16	49553	26014
19	10	17	46325	24320
21	0	18	43447	22709

Pièces de 8 po. sur 15 po.

7	6	6	151171	79364
8	9	7	128760	67596
10	0	8	111952	58774
11	3	9	98861	51901
12	6	10	88404	46412
13	9	11	79849	41920
15	0	12	72705	38169
16	3	13	66674	35003
17	6	14	61504	32289
18	9	15	57012	29931
20	0	16	53092	27873
21	3	17	49634	26057
22	6	18	46550	24438

Pièces de 8 po. sur 16 po.

8	0	6	161249	84655
9	4	7	137344	72105
10	8	8	119416	62693
12	0	9	105451	55361
13	4	10	94298	49506
14	8	11	85172	44615
16	0	12	77552	40714
17	4	13	71119	37336

Pièces de 8 po. sur 16 po.

pi.	po.			
18	8	14	65533	34404
20	0	15	60813	31926
21	4	16	56632	29731
22	8	17	52942	27794
24	0	18	49653	26067

Pièces de 9 po. sur 9 po.

4	6	6	102040	53571
5	3	7	86913	45628
6	0	8	75568	38668
6	9	9	66731	35033
7	6	10	59673	31327
8	3	11	53898	28286
9	0	12	49076	25764
9	9	13	45005	23627
10	6	14	41715	21899
11	3	15	38483	20203
12	0	16	35837	18813
12	9	17	33505	17588
13	6	18	31421	16495
14	3	19	29565	15521
15	0	20	27894	14644
15	9	21	26377	13842
16	6	22	25003	13526
17	3	23	23748	12467
18	0	24	22594	11861
18	9	25	21532	11304
19	6	26	20560	10794
20	3	27	19654	10318
21	0	28	18812	9876
21	9	29	18031	9465
22	6	30	17397	9080

Pièces de 9 po. sur 10 po.

5	0	6	113368	59518
5	10	7	96590	50699
6	8	8	83964	44081
7	6	9	74145	38925

Pièces de 9 po. sur 10 po.

Longu. en pièces		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
8	4	10	66303	35808
9	2	11	59887	31440
10	0	12	54529	28627
10	10	13	50005	26252
11	8	14	46128	24217
12	6	15	42759	22447
13	4	16	39819	20904
14	2	17	37225	19542
15	0	18	34912	18338
15	10	19	32850	17246
16	8	20	30993	16270
17	6	21	29308	15386
18	4	22	27781	14584
19	2	23	26387	13852
20	0	24	25104	13179
20	10	25	23929	12562
21	8	26	22844	11993
22	6	27	21575	11326
23	4	28	20902	10973
24	2	29	20034	10517
25	0	30	19219	10089

Pièces de 9 po. sur 11 po.

5	6	6	124716	65475
6	5	7	106227	55768
7	4	8	92361	48289
8	3	9	81560	42819
9	2	10	72933	38289
10	1	11	65875	34583
11	0	12	59982	31990
11	11	13	55006	28878
12	10	14	50741	26638
13	9	15	47035	24692
14	8	16	43801	22995
15	7	17	40948	21497
16	6	18	38404	20162
17	5	19	36135	18970
18	4	20	34093	17898
19	3	21	32238	16924
20	2	22	30559	16042

Pièces de 9 po. sur 11 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
21	1	23	29026	15338
22	0	24	27615	14497
22	12	25	26322	13819
23	10	26	25128	13192
24	9	27	24018	12609
25	8	28	22982	12065
26	7	29	22037	11568
27	6	30	21141	11098

Pièces de 9 po. sur 12 po.

6	0	6	136054	71428
7	0	7	115884	60839
8	0	8	100757	52896
9	0	9	88974	46171
10	0	10	79564	41771
11	0	11	71864	37728
12	0	12	65435	34352
13	0	13	60006	31503
14	0	14	55354	29060
15	0	15	51311	26622
16	0	16	47783	25085
17	0	17	44670	23451
18	0	18	41895	21994
19	0	19	39420	20695
20	0	20	37192	19525
21	0	21	35169	18463
22	0	22	33337	17501
23	0	23	31230	16395
24	0	24	30125	15813
25	0	25	28715	15074
26	0	26	27413	14391
27	0	27	26202	13756
28	0	28	25083	13168
29	0	29	24061	12632
30	0	30	23063	12107

Pièces de 9 po. sur 13 po.

6	6	6	147391	77379
7	7	7	125541	65908

Pièces de 9 po. sur 13 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
8	8	8	109116	57285
9	9	9	96389	50603
10	10	10	86194	45251
11	11	11	77853	40872
13	0	12	70887	37215
14	1	13	65007	34128
15	2	14	59966	31482
16	3	15	55587	29182
17	4	16	51765	27176
18	5	17	48393	25405
19	6	18	45386	23827

Pièces de 9 po. sur 14 po.

7	0	6	158729	83332
8	2	7	135198	70978
9	4	8	117550	61713
10	6	9	103803	54496
11	8	10	92824	48732
12	10	11	83841	44016
14	0	12	76340	40078
15	2	13	70008	36754
16	4	14	64579	33903
17	6	15	59863	31427
18	8	16	55747	29266
19	10	17	51998	27298
21	0	18	48877	25659

Pièces de 9 po. sur 15 po.

7	6	6	170067	89284
8	9	7	144855	76048
10	0	8	125947	66121
11	3	9	111218	58389
12	6	10	99455	52213
13	9	11	89830	47160
15	0	12	81793	42940
16	3	13	75008	39379
17	6	14	69192	36325
18	9	15	64149	33677
20	0	16	59729	31357
21	3	17	55838	29314
22	6	18	52369	27493

Pièces de 9 po. sur 16 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
8	0	6	181405	95237
9	4	7	154512	81118
10	8	8	134343	70529
12	0	9	118633	62281
13	4	10	106085	55694
14	8	11	95819	50304
16	0	12	87246	45804
17	4	13	80009	42004
18	8	14	73805	38747
20	0	15	68408	35914
21	4	16	63711	33447
22	8	17	59561	31269
23	6	18	55860	29326

Pièces de 9 po. sur 17 po.

8	6	6	192743	101189
9	11	7	164169	86188
11	4	8	142739	74937
12	9	9	126047	66174
14	2	10	112715	59174
15	7	11	102807	53973
17	0	12	92699	48666
18	5	13	85009	44629
19	10	14	78418	41169
21	3	15	72960	38304
22	8	16	67693	35538
24	1	17	63283	33223
25	6	18	59351	31163

Pièces de 9 po. sur 18 po.

9	0	6	204081	107142
10	6	7	173826	91758
12	0	8	151136	79346
13	6	9	133460	70066
15	0	10	119346	62656
16	6	11	107996	56697
18	0	12	98152	51529
19	6	13	90010	47255
21	0	14	83031	43590

Pieces de 9 po. sur 18 po.

Longu. des pieces.		Rapp. de l'épaiss. à la long.	Force en livres.	Force en Kilogrammes.
p.	po.			
22	0	15	7697-6	4949-7
24	0	16	7116-5	5-025
25	0	17	6-096	355-8
27	0	18	625-3	32992

Pieces de 10 po. sur 10 po.

5	0	6	1259-0	681-7
5	6	7	10-300	56532
6	8	8	9-204	45979
7	6	9	8-354	43251
8	4	10	7360-0	3857-6
9	2	11	6641	34933
10	0	12	60528	31808
10	10	13	55562	29170
11	8	14	51253	26900-
12	6	15	47510	24942
13	4	16	44244	23225
14	2	17	41165	21621
15	0	18	38-92	20365
15	10	19	36500	19162
16	8	20	34437	18078
17	6	21	32554	17095
18	4	22	30865	16205
19	2	23	29-54	15620
20	0	24	27-04	14544
20	10	25	26388	13958
21	8	26	25382	13325
22	6	27	24279	12745
23	4	28	23225	12192
24	2	29	22260	11686
25	0	30	21353	11209

Pieces de 10 po. sur 11 po.

5	6	6	1385-3	727-50
6	5	7	1180-30	619-35
7	4	8	1026-23	538-6
8	3	9	907-22	476-29
9	2	10	810-7	425-43
10	1	11	731-5	384-26

Pieces de 10 po. sur 11 po.

Longu. des pieces		Rapp. de l'épaiss. à la long.	Force en livres	Force en Kilogrammes.
p.	po.			
11	0	12	6653-6	3489
11	11	13	6111-8	3208-
12	10	14	5653-9	2968
13	9	15	5221	2-436
14	8	16	4868	2556
15	7	17	4558	2393
16	6	18	4267	2240
17	5	19	4016	2107
18	4	20	3-821	1988-
19	3	21	3654	1916
20	2	22	3395	1-825
21	1	23	3251	1692
22	0	24	3083	1618
22	11	25	2924	1534
23	10	26	2-921	1465
24	9	27	2665-	1401
25	8	28	2554	1341
26	7	29	2455	1288
27	6	30	2390	1233

Pieces de 10 po. sur 12 po.

7	0	7	1511-1	793-4
7	7	8	1270-61	667-99
8	6	9	1119-3	587-4
9	5	10	9886	5051
10	4	11	8784	4612
11	3	12	7940	4170
12	2	13	7-55	3869
13	1	14	7000-4	3503
14	0	15	6154	3229
15	0	16	5-012	2931
16	0	17	5303	2793
17	0	18	4953	2605
18	0	19	4655	2445
19	0	20	4380	2300
20	0	21	4-325	2190
21	0	22	3990	2094
22	0	23	3-942	1944
23	0	24	3583	1870
24	0	25	3343	1-752

Pieces de 10 po. sur 12 po.

Longu. des pieces		Rapp. de l'épaiss. à la long.	Force en livres	Force en Kilogrammes
p.	po.			
25	0	26	3-905	1649
26	0	27	3459	1599
27	0	28	2913	1583
28	0	29	2-570	1431
29	0	30	2612	1423
30	0	31	2562	1453

Pieces de 10 po. sur 13 po.

6	6	6	1651-35	859-5
7	7	7	1394-01	7232
8	8	8	1222-82	636-5
9	9	9	1070-99	562-6
10	10	10	957-91	502-9
11	11	11	865-3	454-3
12	0	12	7-5-54	413-1
13	1	13	7250	3-920
14	2	14	6601	3511
15	3	15	6163	3250
16	4	16	5-51-	3095
17	5	17	5570	2829
18	6	18	5[illegible]	2[illegible]

Pieces de 10 po. sur 14 po.

7	7	7	1-5-6	9-592
8	2	8	1500-0	7-8-3
9	4	9	1360-11	685-0
10	6	10	1233-	6-551
11	8	11	1031-5	5417
12	10	12	9315-	4-906
13	0	13	8-8-3	4453
14	2	14	7-7-55	4053
15	4	15	7-1-55	3-6-0
16	6	16	6614	3491
17	8	17	6-941	3-512
18	10	18	5-906	3040
19	0	19	5365	2511

Pièces de 10 po. sur 15 po.

Longo. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
7	6	6	188964	99206
8	9	7	160951	84498
10	0	8	139941	73468
11	3	9	125576	65877
12	6	10	110505	58014
13	9	11	99812	52401
15	0	12	90882	47713
16	3	13	83342	43754
17	6	14	76880	40384
18	9	15	71264	37413
20	0	16	66366	34845
21	3	17	62042	32572
22	6	18	58186	30547

Pièces de 10 po. sur 16 po.

8	0	6	201561	105819
9	4	7	171681	90132
10	8	8	149270	78366
12	0	9	131814	69202
13	4	10	117872	61872
14	8	11	106465	55893
16	0	12	96931	50888
17	4	13	88898	46671
18	8	14	82006	43053
20	0	15	76016	39908
21	4	16	70790	37164
22	8	17	66178	34743
24	0	18	62067	32584

Pièces de 10 po. sur 17 po.

8	6	6	214159	112432
9	11	7	182411	95765
11	4	8	158599	83263
12	9	9	140053	73527
14	2	10	125239	65749
15	7	11	113138	59497
17	0	12	102999	54073
18	4	13	94455	49588

Pièces de 10 po. sur 17 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
19	10	14	87131	45743
21	3	15	80767	42402
22	8	16	75214	39587
23	3	17	70315	36914
25	6	18	65946	34621

Pièces de 10 po. sur 18 po.

9	0	6	226756	119046
10	6	7	193171	101414
12	0	8	167929	88162
13	6	9	137180	72019
15	0	10	132606	69618
16	6	11	119774	62886
18	0	12	109058	57355
19	6	13	100011	52505
21	0	14	92256	48434
22	6	15	85518	44996
24	0	16	79639	41809
25	6	17	74445	39083
27	0	18	69825	36657

Pièces de 10 po. sur 19 po.

9	6	6	239187	125572
11	1	7	203871	107031
12	8	8	177258	93060
13	6	9	156529	82177
15	10	10	139973	73485
17	5	11	127071	66711
19	0	12	114275	59993
20	6	13	105567	55422
22	2	14	97382	51125
23	9	15	90269	48390
25	4	16	84063	44132
27	9	17	78587	41257
28	6	18	73705	38694

Pièces de 10 po. sur 20 po.

Loogu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi	po.			
10	0	6	251952	132274
11	8	7	214602	112666
13	4	8	186588	97958
15	0	9	164768	86503
17	6	10	147341	77353
18	4	11	133082	69868
20	0	12	121176	63612
21	8	13	111123	58339
23	4	14	102507	53815
25	0	15	95021	49885
26	8	16	88488	46456
28	4	17	82723	43429
30	0	18	77584	30731

Pièces de 11 po. sur 11 po.

5	6	6	152431	80025
6	5	7	129833	68161
7	4	8	112885	59264
8	3	9	99684	52334
9	2	10	89141	46798
10	1	11	80514	42269
11	0	12	73309	38486
11	11	13	67229	35294
12	10	14	62017	32558
13	9	15	57824	30357
14	8	16	53535	28105
15	7	17	50047	26274
16	6	18	46938	24642
17	5	19	44165	23186
18	4	20	41669	21875
19	3	21	39403	20686
20	2	22	37350	19608
21	1	23	35476	18614
22	0	24	33710	17697
22	11	25	32171	16889
23	10	26	30636	16083
24	9	27	29319	15491
25	8	28	28102	14764
26	7	29	26935	14140
27	6	30	25839	13564

Pièces de 11 po. sur 12 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épais. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po			
6	0	6	166288	87301
7	0	7	141493	74283
8	0	8	123148	64602
9	0	9	108746	57091
10	0	10	97244	51053
11	0	11	87834	46112
12	0	12	79976	41987
13	0	13	73341	38508
14	0	14	67655	35518
15	0	15	62712	32918
16	0	16	58102	30661
17	0	17	54597	28662
18	0	18	51205	26882
19	0	19	48191	25299
20	0	20	45457	23864
21	0	21	42985	22566
22	0	22	40746	21391
23	0	23	38702	20266
24	0	24	36820	19330
25	0	25	35096	18425
26	0	26	33505	17589
27	0	27	32025	16812
28	0	28	30657	16094
29	0	29	29383	15425
30	0	30	28188	14798

Pièces de 11 po. sur 13 po.

6	6	6	180145	94575
7	7	7	153439	80554
8	8	8	133410	70040
9	9	9	117809	61849
10	10	10	105348	55307
11	11	11	95585	50181
13	0	12	86641	45486
14	1	13	79453	41712
15	2	14	73292	38478
16	3	15	67939	35667
17	4	16	63267	33214
18	5	17	59147	31051
19	6	18	55472	29122

Pièces de 11 po. sur 14 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épais. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
7	0	6	194003	101851
8	2	7	165242	86752
9	4	8	143672	75427
10	6	9	126871	66606
11	8	10	113452	59566
12	10	11	102473	53297
14	0	12	93305	48984
15	2	13	85565	44911
16	4	14	78930	41385
17	6	15	73166	38412
18	8	16	68135	35770
19	10	17	63697	33440
21	0	18	59739	31362

Pièces de 11 po. sur 15 po.

7	6	6	207860	109120
8	9	7	177075	92963
10	0	8	153935	80815
11	3	9	135933	71364
12	6	10	121556	67816
13	9	11	109793	57640
15	0	12	99970	52484
16	3	13	91631	48105
17	6	14	84568	44398
18	9	15	78392	41155
20	0	16	73002	38376
21	3	17	68247	35829
22	6	18	64006	33603

Pièces de 11 po. sur 16 po.

8	0	6	221717	116400
9	4	7	188849	99145
10	8	8	164197	86202
12	0	9	144995	76121
13	4	10	129659	68070
14	8	11	117139	61497
16	0	12	106634	55982
17	4	13	97788	51338

Pièces de 11 po. sur 16 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épais. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi.	pu.			
18	8	14	90206	47358
20	0	15	83618	43899
21	4	16	77869	40880
22	8	17	72796	38217
24	0	18	68273	35842

Pièces de 11 po. sur 17 po.

8	6	6	235575	123676
9	11	7	200652	105342
11	4	8	174459	91291
12	9	9	154058	80875
14	2	10	137763	72325
15	7	11	124433	65326
17	0	12	113299	59481
18	4	13	103901	54547
19	10	14	95844	50318
21	3	15	88844	46643
22	8	16	82736	43436
23	8	17	77341	39603
25	6	18	72541	38083

Pièces de 11 po. sur 18 po.

9	0	6	249432	130951
10	6	7	212455	111538
11	0	8	184722	96979
12	6	9	163120	85638
15	0	10	145867	76579
16	6	11	131842	69217
18	0	12	119964	62981
19	6	13	110012	57756
21	0	14	101482	53278
22	6	15	94070	49386
24	0	16	87603	45991
25	6	17	81837	42963
27	0	18	76250	40031

Pièces de 11 po. sur 19 po.

Longu. des pièces. pi	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
9	6	6	263289	138226
11	1	7	224258	117735
12	8	8	194984	102366
13	6	9	172183	90595
15	10	10	153971	80834
17	5	11	139071	73011
19	0	12	126629	66479
20	7	13	116123	60965
22	2	14	107120	56238
23	9	15	99294	52129
25	4	16	92469	78545
27	9	17	86446	45384
28	6	18	81075	42663

Pièces de 11 po. sur 20 po.

10	0	6	277147	145501
11	8	7	236061	123931
13	4	8	205246	107754
15	0	9	181244	95153
16	8	10	162074	85088
18	4	11	146390	76854
20	0	12	133293	69978
21	8	13	122236	64174
23	4	14	112758	59197
25	0	15	104523	54874
26	8	16	97336	51091
28	4	17	90996	47772
30	0	18	85342	44804

Pièces de 11 po. sur 21 po.

10	6	6	291004	152777
12	3	7	247864	130128
14	0	8	215509	113121
15	9	9	190307	99910
17	6	10	170178	89343
19	3	11	153709	80696
21	0	12	139958	73477
22	9	13	128348	67382

Pièces de 11 po. sur 21 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
24	6	14	118396	62157
26	3	15	109747	57616
28	0	16	102203	53656
29	9	17	95546	50161
31	6	18	89609	47044

Pièces de 11 po. sur 22 po.

11	0	6	304861	160051
12	10	7	259667	136324
14	8	8	225771	118529
16	6	9	199369	104664
18	4	10	178282	93598
20	2	11	161029	84539
22	0	12	146623	76976
23	10	13	134459	70590
25	8	14	124034	65117
27	6	15	114975	60361
29	4	16	107070	56211
31	2	17	100089	52546
33	0	18	93876	49284

Pièces de 12 po. sur 12 po.

6	0	6	181406	95238
7	0	7	154512	81118
8	0	8	134343	71329
9	0	9	118633	62281
10	0	10	106085	55694
11	0	11	95819	50304
12	0	12	83913	44053
13	0	13	80009	42004
14	0	14	73805	38747
15	0	15	68281	35847
16	0	16	63711	33447
17	0	17	59561	31160
18	0	18	55860	29329
19	0	19	52560	27594
20	0	20	49590	26034

Pièces de 12 po. sur 12 po.

Longu. des pièces. pi.	po	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
21	0	21	46888	25616
22	0	22	44450	23336
23	0	23	42220	22165
24	0	24	40167	21087
25	0	25	38287	20100
26	0	26	36551	19188
27	0	27	34936	18341
28	0	28	33444	17553
29	0	29	32055	16828
30	0	30	30751	16091

Pièces de 12 po. sur 13 po.

6	6	6	196522	103174
7	7	7	167388	87882
8	8	8	145538	76407
9	9	9	128519	67471
10	10	10	114925	60335
11	11	11	103804	56997
13	0	12	94517	49620
14	1	13	86676	45504
15	2	14	79955	41975
16	3	15	74116	38910
17	4	16	69020	36235
18	5	17	64524	33875
19	6	18	60515	31769

Pièces de 12 po. sur 14 po.

7	0	6	211639	111109
8	2	7	180264	94638
9	4	8	156734	84385
10	6	9	138405	69662
11	8	10	123766	64977
12	10	11	111789	58688
14	0	12	101787	53437
15	2	13	93344	49005
16	4	14	86106	45205

Pièces de 12 po. sur 14 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
17	6	15	79817	41903
18	0	16	74329	39022
19	10	17	69487	36480
20	0	18	65170	33214

Pièces de 12 po. sur 15 po.

7	6	6	226755	119035
8	9	7	193141	101398
10	0	8	167929	88162
11	3	9	148291	77852
12	6	10	132606	69618
13	9	11	119774	62881
15	0	12	109058	57355
16	3	13	100011	52505
17	6	14	92256	48434
18	9	15	85518	44891
20	0	16	79639	41809
21	3	17	74415	39083
22	6	18	69825	3665-

Pièces de 12 po. sur 16 po.

8	0	6	241873	126982
9	4	7	206017	108158
10	8	8	179124	84040
12	0	9	158177	83042
13	4	10	141447	74359
14	8	11	127758	67072
16	0	12	116328	61072
17	4	13	106673	56002
18	8	14	98407	51663
20	0	15	91219	47889
21	4	16	84948	44597
22	8	17	79414	41692
24	0	18	70591	37059

Pièces de 12 po. sur 17 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
8	6	6	256991	134919
9	11	7	218893	109668
11	4	8	190319	99916
12	9	9	168063	88232
14	2	10	150287	789 0
15	7	11	135743	71464
17	0	12	123599	64888
18	4	13	113346	59506
19	10	14	104557	54891
21	3	15	96021	50883
22	8	16	90258	47385
23	3	17	84378	42098
25	6	18	79131	41543

Pièces de 12 po. sur 18 po.

9	0	6	272108	142856
10	6	7	231769	121573
12	0	8	201515	205784
13	6	9	177949	93452
15	0	10	159727	83541
17	6	11	143728	75457
18	0	12	130870	68706
19	6	13	120013	63036
21	0	14	110708	58121
22	6	15	102922	53876
24	0	16	95567	49172
25	6	17	89342	46904
27	0	18	83291	43989

Pièces de 12 po. sur 19 po.

9	6	6	287225	150792
11	1	7	244645	128438
12	8	8	212710	111672
13	6	9	187835	98612
15	10	10	167968	88183
17	5	11	151713	79648
19	0	12	138140	72523
20	7	13	126682	66507

Pièces de 12 po. sur 19 po.

Longu. en pièces		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
22	2	14	116858	61350
23	9	15	108323	56869
25	4	16	100876	52959
27	9	17	94304	49509
28	6	18	88445	46433

Pièces de 12 po. sur 20 po.

10	0	6	302342	158729
11	8	7	257521	135198
13	4	8	223905	117549
15	0	9	197721	102853
16	8	10	176808	92824
18	4	11	159698	83841
20	0	12	145411	76330
21	8	13	133341	70003
23	4	14	124437	65328
25	0	15	114025	59862
26	8	16	105185	55746
28	4	17	99268	52115
30	0	18	93101	48877

Pièces de 12 po. sur 21 po.

10	6	6	317459	166665
12	3	7	268968	141208
14	0	8	235201	123427
15	9	9	207607	108993
17	6	10	185649	97465
19	3	11	167683	88033
21	0	12	152681	80157
22	9	13	140015	73507
24	6	14	129159	67807
26	3	15	119726	62856
28	0	16	111494	58534
29	9	17	103643	54412
31	6	18	98755	51320

Pièces de 12 po. sur 22 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
11	0	6	332576	174612
12	10	7	283273	148717
14	8	8	246171	129249
16	6	9	217493	114283
18	4	10	194489	102106
20	2	11	175668	92225
22	0	12	159950	83973
23	10	13	146683	77008
25	8	14	135309	71036
27	6	15	125427	65848
29	4	16	116804	61322
31	2	17	109195	57326
33	0	18	102411	53765

Pièces de 12 po. sur 23 po.

11	6	6	347693	182538
13	5	7	296149	155477
15	4	8	257491	135182
17	3	9	227379	119373
19	2	10	203330	106748
21	1	11	183671	96426
23	0	12	167223	87791
24	11	13	153350	80508
26	10	14	141460	74266
28	9	15	131128	68842
30	8	16	122113	64108
32	7	17	114041	59871
34	6	18	107066	56209

Pièces de 12 po. sur 24 po.

12	0	6	362811	190475
14	0	7	309025	162237
16	0	8	268686	141060
18	0	9	237266	124039
20	0	10	212170	111389
22	0	11	191638	100609
24	0	12	174493	91608
26	0	13	160018	84009
28	0	14	147610	77495

Pièces de 12 po. sur 24 po.

pi.	po.			
30	0	15	136836	71838
32	0	16	127423	66896
34	0	17	119115	62534
36	0	18	112721	58653

Pièces de 13 po. sur 13 po.

6	6	6	212897	111770
7	7	7	181238	95202
8	8	8	157666	82774
9	9	9	139228	73094
10	10	10	124303	65363
11	11	11	112454	59038
13	0	12	102393	53755
14	1	13	93899	49396
15	2	14	86618	45474
16	3	15	80292	42153
17	4	16	74772	38225
18	5	17	69901	36697
19	6	18	65558	34317

Pièces de 13 po. sur 14 po.

7	0	6	229276	120369
8	2	7	195287	102525
9	4	8	169795	89141
10	6	9	149938	78717
11	8	10	134080	71392
12	10	11	121104	63579
14	0	12	110270	57881
15	2	13	101122	53089
16	4	14	93346	49006
17	6	15	86468	45395
18	8	16	80524	42275
19	10	17	75272	39517
21	0	18	70601	37065

Pièces de 13 po. sur 15 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
7	6	6	245653	128967
8	9	7	209236	110348
10	0	8	181923	95409
11	3	9	160648	84340
12	6	10	143357	75261
13	9	11	129754	68120
15	0	12	118146	62026
16	3	13	108345	56880
17	6	14	99944	52470
18	9	15	92645	48638
20	0	16	86275	45293
21	3	17	80655	42343
22	6	18	75699	39741

Pièces de 13 po. sur 16 po.

8	0	6	262030	137565
9	4	7	223185	117171
10	8	8	194051	101876
12	0	9	171025	89212
13	4	10	152246	79929
14	8	11	138405	72662
16	0	12	126068	66285
17	4	13	115568	60673
18	8	14	105893	55593
20	0	15	98821	51880
21	4	16	92033	48316
22	8	17	86032	45166
24	0	18	85131	44693

Pièces de 13 po. sur 17 po.

8	6	6	288406	146163
9	11	7	237134	124490
11	4	8	206179	108243
12	9	9	182068	95585
14	2	10	162811	85475
15	7	11	147055	77203
17	0	12	133899	70296
18	4	13	122791	64464

Pièces de 13 po. sur 17 po.

Longu. des pièce.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
19	10	14	113270	60466
21	3	15	104998	55123
22	8	16	97779	51333
23	3	17	91409	47989
25	6	18	85730	45008

Pièces de 13 po. sur 18 po.

9	0	6	294784	154761
10	6	7	251083	131818
12	0	8	218307	114610
13	6	9	192778	101208
15	0	10	172388	90503
16	6	11	155706	81745
18	0	12	141773	74430
19	6	13	130014	68257
21	0	14	119933	62964
22	6	15	111172	58365
24	0	16	103531	54353
25	6	17	96786	48712
27	0	18	90773	47655

Pièces de 13 po. sur 19 po.

9	6	6	311160	163359
11	1	7	265032	139141
12	8	8	230436	120978
13	6	9	207488	108231
15	10	10	181965	95531
17	5	11	165222	86741
19	0	12	149652	78567
20	7	13	137237	72048
22	2	14	126596	66462
23	9	15	117351	61608
25	4	16	109283	57373
27	9	17	102164	53136
28	6	18	95816	50198

Pièces de 13 po. sur 20 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi.	po.			
10	0	6	327371	171869
11	8	7	278981	146464
13	4	8	242564	127346
15	0	9	215420	113095
16	8	10	190307	99910
18	4	11	173006	90828
20	0	12	157528	82702
21	8	13	144461	75841
23	4	14	133259	69960
25	0	15	123527	64846
26	8	16	115034	60392
28	4	17	107641	56458
30	0	18	100881	52962

Pièces de 13 po. sur 21 po.

10	6	6	343914	180554
12	3	7	292930	153788
14	0	8	253692	133713
15	9	9	224908	118076
17	6	10	201720	110738
19	3	11	181675	95378
21	0	12	165405	86837
22	9	13	151683	79633
24	6	14	139922	73459
26	3	15	129703	68093
28	0	16	120786	63412
29	9	17	112863	59252
31	6	18	105902	55598

Pièces de 13 po. sur 22 po.

11	0	6	360291	189152
12	10	7	306879	161110
14	8	8	266821	140080
16	6	9	235688	123736
18	4	10	210697	110615
20	2	11	190367	99942
22	0	12	173281	90972
23	10	13	158906	83425

Pièces de 13 po. sur 22 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
25	8	14	146585	76956
27	6	15	135879	71335
29	4	16	126537	66431
31	2	17	118289	62101
33	0	18	110945	58245

Pièces de 13 po. sur 23 po.

11	0	6	376668	168750
13	5	7	320828	168434
15	4	8	278949	143447
17	3	9	246317	129345
19	2	10	220274	115643
21	1	11	198957	104451
23	0	12	181158	95107
24	11	13	166129	87217
26	10	14	153248	80455
28	9	15	142056	74579
30	8	16	132289	69451
32	7	17	123672	66927
34	6	18	115988	64893

Pièces de 13 po. sur 24. po.

12	0	6	393045	206048
14	0	7	334777	175757
16	0	8	291077	152814
18	0	9	257038	134944
20	0	10	229851	120666
22	0	11	207608	108994
24	0	12	189034	99237
26	0	13	173353	91009
28	0	14	159911	83752
30	0	15	148214	77812
32	0	16	138041	72471
34	0	17	129049	67752
36	0	18	121029	63539

Pièces de 13 po. sur 25 po.

Longu. des pièces. pi. po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
12 6	6	409422	214946
14 7	7	348726	183081
16 8	8	303205	159182
18 9	9	267748	140567
20 10	10	239428	125699
22 11	11	216258	113535
25 0	12	196911	103377
27 1	13	180576	94802
29 2	14	166574	87451
31 3	15	154391	81054
33 4	16	143793	75490
35 5	17	134426	70573
37 6	18	126074	66188

Pièces de 13 po. sur 26 po.

13 0	6	425798	223543
15 2	7	362675	190403
17 4	8	315333	165549
19 6	9	278457	146189
21 8	10	249005	130727
23 10	11	224908	118076
26 0	12	204787	107512
28 2	13	187876	98634
30 4	14	173237	90948
32 6	15	160585	84306
34 8	16	149544	78510
36 10	17	139802	73396
39 0	18	131117	68835

Pièces de 14 po. sur 14 po.

7 0	6	246913	129628
8 2	7	210309	110411
9 4	8	182856	95999
10 6	9	161473	85822
11 8	10	144393	75805
12 10	11	130420	68470
14 0	12	118752	62344
15 2	13	108901	57172

Pièces de 14 po. sur 14 po.

Longu. des pièces. pi. po	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
16 4	14	100457	52739
17 6	15	93120	48888
18 8	16	86718	45566
19 10	17	81069	42560
21 0	18	76032	39916

Pièces de 14 po. sur 15 po.

7 6	6	264549	138887
8 9	7	225331	118298
10 0	8	195917	102855
11 3	9	173006	90808
12 6	10	154707	81220
13 9	11	139736	73361
15 0	12	127234	66797
16 3	13	116679	61255
17 6	14	107632	56506
18 9	15	99771	52379
20 0	16	92912	48778
21 3	17	86859	45600
22 6	18	81463	42767

Pièces de 14 po. sur 16 po.

8 0	6	282186	148147
9 11	7	240353	126184
11 4	8	208978	106713
12 9	9	183357	96261
14 2	10	165021	86635
15 7	11	149052	78252
17 0	12	135717	71250
18 4	13	124457	65339
19 10	14	114808	60274
21 3	15	106423	55871
22 8	16	99106	52030
23 3	17	92650	48641
25 6	18	86894	45619

Pièces de 14 po. sur 17 po.

Longu. des pièces. pi. po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
8 6	6	299822	157406
9 11	7	255375	134071
11 4	8	222039	116569
12 9	9	196073	102937
14 2	10	175335	92050
15 7	11	158277	83094
17 0	12	144199	75703
18 4	13	132237	69423
19 10	14	121983	64040
21 3	15	113074	59363
22 8	16	105337	55301
23 3	17	98441	51681
25 6	18	92325	48470

Pièces de 14 po. sur 18 po.

9 0	6	317193	166578
10 6	7	270397	141957
12 0	8	235100	123427
13 6	9	217607	108993
15 0	10	185649	97465
16 6	11	167683	88033
18 0	12	152681	80157
19 6	13	147708	77546
21 0	14	129159	67807
22 6	15	119926	62856
24 0	16	111495	58534
25 6	17	104232	54721
27 0	18	97755	51320

Pièces de 14 po. sur 19 po.

9 6	6	345096	175925
11 1	7	285419	149844
12 8	8	248162	130285
13 6	9	219141	115048
15 10	10	196803	103321
17 5	11	176999	92923
19 0	12	161164	84611
20 7	13	147794	77591

Pièces de 14 po. sur 19 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
22	2	14	146334	71575
23	9	15	126377	66347
25	4	16	117689	61786
27	9	17	110022	58261
28	6	18	103186	54172

Pièces de 14 po. sur 20 po.

10	0	6	352728	185182
11	8	7	300441	157731
13	4	8	261223	136616
15	0	9	230675	121103
16	8	10	206274	108293
18	4	11	186315	97814
20	0	12	169646	89064
21	8	13	155573	81875
23	4	14	143510	75342
25	0	15	133029	69839
26	8	16	123883	65038
28	4	17	115813	60853
30	0	18	108617	57023

Pièces de 14 po. sur 21 po.

10	6	6	370369	194443
12	3	7	311606	163593
14	0	8	274284	143999
15	9	9	242208	127159
17	6	10	216590	113709
19	3	11	195630	102705
21	0	12	178128	93517
22	9	13	163351	85758
24	6	14	150685	79109
26	3	15	139680	73332
28	0	16	130077	68289
29	9	17	121603	63841
31	6	18	114048	59875

Pièces de 14 po. sur 22 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
11	0	6	388006	203703
12	10	7	330485	173504
14	8	8	287345	150855
16	6	9	253744	133215
18	4	10	227904	119649
20	2	11	204946	107596
22	0	12	186611	97990
23	10	13	171130	89811
25	8	14	157861	82876
27	6	15	146332	76824
29	4	16	136271	71541
31	2	17	127394	66881
33	0	18	119479	65725

Pièces de 14 po. sur 23 po.

11	6	6	418240	219576
13	5	7	356237	187023
15	4	8	309736	162716
17	3	9	273514	143584
19	2	10	244585	128406
21	1	11	220916	115980
23	0	12	201151	105603
24	11	13	184465	96843
26	10	14	170162	89335
28	9	15	157734	82810
30	8	16	146890	77117
32	7	17	137321	71093
34	6	18	128789	67613

Pièces de 14 po. sur 24 po.

12	0	6	423279	222620
14	0	7	360530	189278
16	0	8	313468	164570
18	0	9	276588	145208
20	0	10	247532	129954
22	0	11	223578	117378
24	0	12	203575	106876

Pièces de 14 po. sur 24 po.

Longu. des Pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
26	0	13	186688	98011
28	0	14	172212	90411
30	0	15	159635	83807
32	0	16	148660	78046
34	0	17	138960	72954
36	0	18	130341	68428

Pièces de 14 po. sur 25 po.

12	6	6	440916	131475
14	7	7	375552	197154
16	8	8	326529	163264
18	9	9	288344	144122
20	10	10	257846	135364
22	11	11	232893	126268
25	0	12	212058	111330
27	1	13	194466	102094
29	2	14	179388	94126
31	3	15	166286	87300
33	4	16	154854	81298
35	5	17	144766	76002
37	6	18	135772	71280

Pièces de 14 po. sur 26 po.

13	0	6	458552	241264
15	2	7	390594	205059
17	4	8	339590	178284
19	6	9	299877	157434
21	8	10	268160	140784
23	10	11	242209	127164
26	0	12	220540	115783
28	2	13	202245	106178
30	4	14	186563	97945
32	6	15	172937	90791
34	8	16	161048	84550
36	10	17	150557	79041
39	0	18	141202	74131

Pièces de 14 po. sur 27 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
13	6	6	476189	249998
15	9	7	405596	212937
18	10	8	351651	185191
20	3	9	311411	164490
22	8	10	278474	146193
24	9	11	251525	132050
27	0	12	229022	120236
29	3	13	210100	110202
31	6	14	193739	101712
33	9	15	179582	94240
36	0	16	167242	87802
38	3	17	156347	82082
40	6	18	146633	76981

Pièces de 14 po. sur 28 po.

14	0	6	493825	259257
16	4	7	420618	220824
18	8	8	365712	191998
21	0	9	322945	169545
23	4	10	288787	151612
25	8	11	260841	136941
28	0	12	239171	125564
30	4	13	217802	116346
32	8	14	200914	105474
35	0	15	186240	97776
37	4	16	173436	90053
39	8	17	162138	85122
42	0	18	152064	89817

Pièces de 15 po. sur 15 po.

7	6	6	283446	148809
8	9	7	241426	126748
10	0	8	209911	110202
11	3	9	185365	97316
12	6	10	165758	87022
13	9	11	149717	78600
15	0	12	136323	71569
16	0	13	125014	65632

Pièces de 15 po. sur 15 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
17	6	14	115321	60543
18	9	15	106898	56121
20	0	16	99549	52262
21	3	17	93064	48858
22	6	18	87282	45823

Pièces de 15 po. sur 16 po.

8	0	6	302342	158729
9	4	7	257521	135198
10	8	8	223905	117549
12	0	9	198832	104586
13	4	10	176808	92824
14	8	11	160562	84295
16	0	12	145411	76340
17	4	13	133348	70007
18	8	14	123008	64579
20	0	15	114025	59862
21	4	16	106185	55746
22	8	17	99268	52115
24	0	18	94100	48877

Pièces de 15 po. sur 17 po.

8	6	6	321255	168658
9	11	7	273616	143648
11	4	8	237899	124896
12	9	9	210079	110290
14	2	10	187859	98525
15	7	11	169679	89080
17	0	12	154499	81111
18	4	13	141682	74383
19	10	14	130697	68615
21	3	15	121151	63603
22	8	16	112822	59231
23	3	17	105472	55372
25	6	18	98919	51931

Pièces de 15 po. sur 18 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
9	0	6	340135	178570
10	6	7	289711	152097
12	0	8	251893	132243
13	6	9	222636	116883
15	0	10	198910	104427
16	6	11	179679	94330
18	0	12	163504	85839
19	6	13	150016	78758
21	0	14	138385	72651
22	6	15	128411	67415
24	0	16	119458	62715
25	6	17	111681	58632
27	0	18	104738	54987

Pièces de 15 po. sur 19 po.

9	6	6	359031	188490
11	1	7	305806	160548
12	8	8	266000	139650
13	6	9	234794	123266
15	10	10	209960	110229
17	5	11	189642	99562
19	0	12	172676	90654
20	7	13	158351	83133
22	2	14	146073	76687
23	9	15	135404	71087
25	4	16	126095	66199
27	9	17	117873	61883
28	6	18	110557	58041

Pièces de 15 po. sur 20 po.

10	0	6	377928	198412
11	8	7	321901	168997
13	4	8	279882	146938
15	0	9	247152	129756
16	8	10	221011	116030
18	6	11	199623	104801
20	0	12	181847	95469
21	8	13	166685	87509

Pièces de 15 po. sur 20 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
23 4	14	153761	80724
25 0	15	142531	75828
26 8	16	132732	69684
28 4	17	124085	65144
30 0	18	116376	61097

Pièces de 15 po. sur 21 po.

10 6	6	396824	208332
12 3	7	337998	177448
14 0	8	293876	154284
15 9	9	259509	136241
17 6	10	232061	121831
19 3	11	209604	115292
21 0	12	190858	100200
22 9	13	173019	91834
24 6	14	161449	84760
26 3	15	149657	78569
28 0	16	139368	73168
29 9	17	130878	68710
31 6	18	121083	63568

Pièces de 15 po. sur 22 po.

11 0	6	415720	218253
12 10	7	354920	185333
14 8	8	307870	161631
16 6	9	271868	142719
18 4	10	243112	127633
20 2	11	219585	115281
22 0	12	199940	104968
23 10	13	183354	96260
25 8	14	169137	88764
27 6	15	156784	82311
29 4	16	146003	76652
31 2	17	136494	71659
33 0	18	128013	67206

Pièces de 15 po. sur 23 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi. po.			
11 6	6	434617	228173
13 5	7	370185	194346
15 4	8	321864	168978
17 3	9	284224	149217
19 2	10	254162	134435
21 1	11	229566	129523
23 0	12	209028	109739
24 11	13	191688	100636
26 10	14	176825	92832
28 9	15	163911	86052
30 8	16	152641	80136
32 7	17	142698	74916
34 6	18	133872	70261

Pièces de 15 po. sur 24 po.

12 0	6	453513	238093
14 0	7	386272	202792
16 0	8	335858	176325
18 0	9	296582	155705
20 0	10	265213	139236
22 0	11	239548	125762
24 0	12	218116	114510
26 0	13	200022	105011
28 0	14	184513	98968
30 0	15	171037	89793
32 0	16	159278	83620
34 0	17	148902	78173
36 0	18	139651	73316

Pièces de 16 po. sur 16 po.

8 0	6	322496	169310
9 4	7	274689	144111
10 8	8	238832	125386
12 0	9	219903	115448
13 4	10	188596	99012
14 8	11	170345	89430
16 0	12	155105	81429
17 4	13	142238	74674

Pièces de 16 po. sur 16 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
18 8	14	131209	68884
20 0	15	121626	63853
21 4	16	113858	59775
22 8	17	111768	88678
24 0	18	99307	42140

Pièces de 16 po. sur 17 po.

8 6	6	342654	179893
9 11	7	291857	153224
11 4	8	253359	133222
12 9	9	224084	117644
14 2	10	200383	105205
15 7	11	181009	95029
17 0	12	163799	86518
18 4	13	151128	79342
19 10	14	139410	73190
21 3	15	129228	67844
22 8	16	120343	63179
23 3	17	112508	59066
25 6	18	105513	55393

Pièces de 16 po. sur 18 po.

9 0	6	362811	199475
10 6	7	309025	162237
12 0	8	268686	141060
13 6	9	237266	124564
15 0	10	212170	111389
16 6	11	191638	100609
18 0	12	174493	91608
19 6	13	160018	84009
21 0	14	147610	77495
22 6	15	136836	71838
24 0	16	127423	66891
25 6	17	119115	62534
27 0	18	111721	58603

Pièces de 16 po. sur 19 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
9	6	6	382967	201057
11	1	7	326193	171250
12	8	8	283613	148896
13	6	9	250447	131484
15	10	10	223958	117577
17	5	11	202284	106199
19	0	12	184187	96697
20	7	13	168908	88676
22	2	14	155811	81800
23	9	15	144413	75816
25	4	16	134501	70612
27	9	17	125740	66013
28	6	18	117927	61911

Pièces de 16 po. sur 20 po.

10	0	6	403123	211639
11	8	7	343361	180264
13	4	8	298540	156733
15	0	9	263617	138398
16	8	10	235745	123765
18	4	11	212931	111788
20	0	12	193881	101787
21	8	13	172413	90516
23	4	14	164011	86105
25	0	15	152015	79807
26	8	16	141581	74319
28	4	17	132358	69487
30	0	18	124178	65193

Pièces de 16 po. sur 21 po.

10	6	6	423279	222220
12	3	7	360529	189277
14	0	8	313467	164569
15	9	9	276810	145325
17	6	10	247532	129954
19	3	11	223578	117378
21	0	12	203575	106846
22	9	13	186687	98012

Pièces de 16 po. sur 21 po.

Longu. des pieces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
24	6	14	172212	90411
26	3	15	159635	88807
28	0	16	148659	78045
29	9	17	138975	72961
31	6	18	130341	68428

Pièces de 16 po. sur 22 po.

11	0	6	443435	232797
12	10	7	377699	198391
14	8	8	328394	172406
16	6	9	293325	153995
18	4	10	259319	136141
20	2	11	234224	122967
22	0	12	213269	106715
23	10	13	195578	102678
25	8	14	180413	94716
27	6	15	167236	87798
29	4	16	156363	82090
31	2	17	145587	76432
33	0	18	136547	71686

Pièces de 16 po. sur 23 po.

11	6	6	463591	243484
13	5	7	394866	207304
15	4	8	343321	180243
17	3	9	303173	159160
19	2	10	271107	146330
21	1	11	244821	128530
23	0	12	222963	117055
24	11	13	204467	107344
26	10	14	188613	99021
28	9	15	174838	91789
30	8	16	162817	85478
32	7	17	152211	79910
34	6	18	142754	74945

Pièces de 16 po. sur 24 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
12	0	6	483747	253976
14	0	7	412034	216817
16	0	8	358373	188145
18	0	9	317465	166668
20	0	10	282894	148519
22	0	11	255517	134145
24	0	12	232741	122188
26	0	13	213357	112011
28	0	14	196814	103327
30	0	15	182439	95779
32	0	16	169834	89162
34	0	17	158235	83072
36	0	18	148405	79912

Pièces de 17 po. sur 17 po.

8	4	6	364070	191136
9	11	7	310098	162801
11	4	8	269607	141543
12	9	9	238089	124996
14	2	10	212877	111759
15	7	11	192303	100958
17	0	12	175099	91926
18	4	13	160573	84300
19	10	14	148123	77764
21	3	15	137312	72088
22	8	16	127865	67128
23	3	17	119524	62750
25	6	18	112108	58856

Pièces de 17 po. sur 18 po.

9	0	6	385486	202380
10	6	7	328439	172377
12	0	8	285479	149875
13	6	9	252095	132344
15	0	10	225431	118350
16	6	11	203615	106895
18	0	12	185399	97333
19	6	13	170788	89663

Pièces de 17 po. sur 18 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
21 0	14	156836	82338
22 6	15	145381	76324
24 0	16	135386	71077
25 6	17	126543	66434
27 0	18	118703	52318

Pièces de 17 po. sur 19 po.

9 6	6	406902	213623
11 1	7	346581	181954
12 8	8	301339	158202
13 6	9	266100	139702
15 10	10	237955	124925
17 5	11	214927	112836
19 0	12	195699	102741
20 7	13	179464	94228
22 2	14	165549	92162
23 9	15	153440	80556
25 4	16	142908	75026
27 9	17	134187	70447
28 6	18	125242	65752

Pièces de 17 po. sur 20 po.

10 0	6	428318	224866
11 8	7	364836	191538
13 4	8	317199	165478
15 0	9	289105	151779
16 8	10	250479	131566
18 4	11	226239	118774
20 0	12	205999	108148
21 8	13	188910	99177
23 4	14	174262	91487
25 0	15	161517	84795
26 8	16	150429	78934
28 4	17	140630	73830
30 0	18	131892	69243

Pièces de 17 po. sur 21 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
10 6	6	449767	236127
12 3	7	383063	201107
14 0	8	331809	174199
15 9	9	294111	154407
17 6	10	263003	138076
19 3	11	237553	124716
21 0	12	216299	113556
22 9	13	198355	104135
24 6	14	182975	96061
26 3	15	169594	89036
28 0	16	157662	82772
29 9	17	147662	77522
31 6	18	138487	72705

Pièces de 17 po. sur 22 po.

11 0	6	471150	247353
12 10	7	401304	210684
14 8	8	348919	183181
16 6	9	308116	161760
18 4	10	275527	144651
20 2	11	248881	130662
22 0	12	226599	118963
23 10	13	207801	109095
25 8	14	191688	100636
27 6	15	177670	93276
29 4	16	165472	86872
31 2	17	154698	812
33 0	18	145082	76168

Pièces de 17 po. sur 23 po.

11 6	6	492566	258597
13 5	7	419545	220260
15 4	8	364779	191503
17 3	9	322121	169113
19 2	10	287751	151068
21 1	11	260175	136591
23 0	12	236899	124371
24 11	13	217246	114054

Pièces de 17 po. sur 23 po.

Longu. en pièces	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
26 10	14	200402	105211
28 9	15	185747	97516
30 8	16	172994	90821
32 7	17	161725	84905
34 6	18	151676	79629

Pièces de 17 po. sur 24 po.

12 0	6	513982	269840
14 0	7	437786	229837
16 0	8	380639	199834
18 0	9	336126	176466
20 0	10	300575	157801
22 0	11	271487	142530
24 0	12	247199	129778
26 0	13	226692	119013
28 0	14	209115	109784
30 0	15	193842	101767
32 0	16	180515	94769
34 0	17	168755	88595
36 0	18	158271	83091

Pièces de 18 po. sur 18 po.

9 0	6	408162	214285
10 6	7	347653	182569
12 0	8	302272	158792
13 6	9	266924	130135
15 0	10	238692	125838
16 6	11	215593	113185
18 0	12	196395	103106
19 6	13	180020	94510
21 0	14	166062	87182
22 6	15	153915	80804
24 0	16	143350	75658
25 6	17	134012	70356
27 0	18	125686	65985

Pièces de 18 po. sur 19 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
9	6	6	430837	225988
11	1	7	366967	192657
12	8	8	319065	167508
13	6	9	281753	147919
15	10	10	251952	132775
17	5	11	227570	119474
19	0	12	207211	108785
20	7	13	190021	99760
22	2	14	175287	92025
23	9	15	162467	85294
25	4	16	151314	79439
27	9	17	141457	74264
28	6	18	132658	70175

Pièces de 18 po. sur 20 po.

10	0	6	453513	238093
11	8	7	386272	208042
13	4	8	335858	179325
15	0	9	296582	155705
16	8	10	265213	138236
18	4	11	239548	125762
20	0	12	218116	114505
21	8	13	200022	105011
23	4	14	184513	96868
25	0	15	171037	89793
26	8	16	159278	83620
28	4	17	148902	78173
30	0	18	139651	73316

Pièces de 18 po. sur 21 po.

10	6	6	476189	249998
12	3	7	405595	212937
14	0	8	352651	185141
15	9	9	311411	163490
17	6	10	278484	146204
19	3	11	251543	132059
21	0	12	229022	120236
22	9	13	210022	110261

Pièces de 18 po. sur 21 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
24	6	14	193739	101712
26	3	15	179571	94274
28	0	16	167242	87802
29	9	17	156352	82084
31	6	18	146633	76981

Pièces de 18 po. sur 22 po.

11	0	6	498864	260853
12	10	7	424910	223077
14	8	8	369444	193958
16	6	9	326240	171276
18	4	10	291734	153160
20	2	11	263502	138338
22	0	12	239928	125962
23	10	13	220024	115512
25	8	14	202964	106556
27	6	15	187456	98413
29	4	16	175206	91983
31	2	17	163793	85990
33	0	18	153616	80648

Pièces de 18 po. sur 23 po.

11	6	6	521540	273808
13	5	7	444224	233217
15	4	8	386237	202773
17	3	9	341069	179060
19	2	10	304995	160121
21	1	11	275480	147627
23	0	12	250834	131687
24	11	13	230026	120763
26	10	14	212190	111399
28	9	15	196693	103263
30	8	16	183170	96153
32	7	17	171238	89898
34	6	18	160598	84313

Pièces de 18 po. sur 24 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
11	0	6	541949	284522
14	0	7	463538	243357
16	0	8	405406	212838
18	0	9	355898	186846
20	0	10	318256	167084
22	0	11	287457	150914
24	0	12	261740	137413
26	0	13	240026	124013
28	0	14	221416	116243
30	0	15	205243	107752
32	0	16	191752	100669
34	0	17	178683	93808
36	0	18	167581	87969

Pièces de 18 po. sur 25 po.

12	6	6	566892	297618
14	7	7	482852	253447
16	8	8	419823	215151
18	9	9	370728	194632
20	10	10	331516	174045
22	11	11	299434	157202
25	0	12	272646	143139
27	1	13	249259	130860
29	2	14	230641	121086
31	3	15	213796	112242
33	4	16	199098	104526
35	5	17	186128	97717
37	6	18	174564	91646

Pièces de 18 po. sur 26 po.

13	0	6	589567	314542
15	2	7	502166	263637
17	4	8	436615	229222
19	6	9	385557	202416
21	8	10	344777	181007
23	10	11	311412	163491
26	0	12	283551	148863
28	2	13	260029	136514

Pièces de 18 po. sur 26 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
30	4	14	239767	125929
32	6	15	222348	116732
34	8	16	207061	108706
36	10	17	193573	101625
39	0	18	181546	95311

Pièces de 18 po. sur 27 po.

13	6	6	610576	320552
15	9	7	521480	273777
18	10	8	453408	238039
20	3	9	400386	210202
22	6	10	358038	187969
24	9	11	323389	169778
27	0	12	294457	154585
29	3	13	270030	141769
31	6	14	249093	130773
33	9	15	230900	121747
36	0	16	215025	112887
38	3	17	201012	105527
40	6	18	188529	98977

Pièces de 19 po. sur 19 po.

9	6	6	454773	238755
11	1	7	387355	203360
12	8	8	336791	176814
13	6	9	297406	156138
15	10	10	265950	139623
17	5	11	240213	126111
19	0	12	218722	114829
20	7	13	200578	105303
22	2	14	185025	97137
23	9	15	171512	90043
25	4	16	159720	83853
27	9	17	149316	78389
28	6	18	140039	73519

Pièces de 19 po. sur 20 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
10	0	6	478708	251321
11	8	7	407742	214064
13	4	8	354517	186068
15	0	9	313059	164455
16	8	10	279947	146971
18	4	11	252856	132749
20	0	12	230234	120872
21	8	13	211135	110845
23	4	14	194764	102251
25	0	15	180539	94782
26	8	16	168127	88266
28	4	17	157169	82513
30	0	18	147409	77389

Pièces de 19 po. sur 21 po.

10	6	16	502644	263858
12	3	17	428129	224767
14	0	8	372243	195427
15	9	9	328712	172573
17	6	10	293944	154320
18	3	11	265498	139386
21	0	12	241746	126916
22	9	13	221691	116387
24	6	14	204460	107341
26	3	15	189548	98987
28	0	16	176533	92679
29	9	17	165033	82641
31	6	18	154780	81259

Pièces de 19 po. sur 22 po.

11	0	6	526569	276448
12	10	7	448516	235470
14	8	8	389968	204733
16	6	9	344364	180791
18	4	10	307942	161669
20	2	11	278144	146025
22	0	12	253174	132916
23	10	13	233017	122333

Pièces de 19 po. sur 22 po.

Longo. des Pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po			
25	8	14	214240	112476
27	6	15	198593	104260
29	4	16	184939	97092
31	2	17	172892	90768
33	0	18	162150	85128

Pièces de 19 po. sur 23 po.

11	6	6	550515	289019
13	5	7	468903	246173
15	4	8	407694	214039
17	3	9	360018	189009
19	2	10	321939	169017
21	1	11	290786	152667
23	0	12	264769	139903
24	11	13	242805	127472
26	10	14	223978	117588
28	9	15	207618	108999
30	8	16	199596	104787
32	7	17	180751	94893
34	6	18	169521	88998

Pièces de 19 po. sur 24 po.

12	0	6	574450	301622
14	0	7	489147	257801
16	0	8	425420	223345
18	0	9	375668	197225
20	0	10	335937	176366
22	0	11	303427	159298
24	0	12	276281	145047
26	0	13	253362	133015
28	0	14	233716	122700
30	0	15	216647	112739
32	0	16	201752	105919
34	0	17	188610	99070
36	0	18	176891	92867

Pièces de 19 po. sur 25 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po			
12	6	6	598386	314152
14	7	7	509677	267579
16	8	8	443146	232650
18	9	9	391324	205445
20	10	10	369924	183710
22	11	11	316088	165946
25	0	12	287793	151090
27	1	13	263918	138556
29	2	14	243455	127813
31	3	15	225607	118443
33	4	16	210159	110332
35	5	17	196473	103147
37	6	18	184262	96737

Pièces de 19 po. sur 26 po.

13	0	6	622321	326718
15	2	7	530064	278283
17	4	8	460872	241957
19	6	9	406976	213662
21	8	10	363931	191063
23	10	11	328714	172574
26	0	12	299304	157134
28	2	13	274475	144098
30	4	14	253155	132905
32	6	15	234701	123217
34	8	16	218565	114746
36	10	17	204327	107271
39	0	18	191632	100606

Pièces de 19 po. sur 27 po.

13	6	6	646256	339284
15	9	7	550451	288986
18	10	8	478598	251263
20	3	9	422629	226879
22	6	10	377929	198412
24	9	11	341355	179110
27	0	12	310816	163178
29	3	13	285032	149741

Pièces de 19 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi	po.			
31	6	14	262931	138038
33	9	15	243728	127957
36	0	16	226971	119159
38	3	17	212186	111397
40	6	18	199003	104476

Pièces de 20 po. sur 20 po.

10	0	6	503904	264549
11	8	7	429202	225331
13	4	8	373176	195917
15	0	9	329536	172996
16	8	10	294681	154707
18	4	11	266164	139683
20	0	12	242352	127234
21	8	13	222247	116679
23	4	14	205014	107632
25	0	15	190041	99771
26	8	16	176913	92878
28	4	17	165447	86859
30	0	18	155168	81463

Pièces de 20 po. sur 21 po.

10	6	6	529099	277771
12	3	7	450662	236597
14	0	8	391834	205712
15	9	9	346012	181656
17	6	10	309415	162442
19	3	11	279472	146722
21	0	12	254469	133595
22	9	13	233359	122512
24	6	14	215265	113013
26	3	15	199543	104759
28	0	16	185824	97557
29	9	17	173719	91201
31	6	18	162926	85536

Pièces de 20 po. sur 22 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
11	0	6	554294	291004
12	10	7	472122	247864
14	8	8	410493	215508
16	6	9	362489	190306
18	4	10	324149	170177
20	2	11	292780	153709
22	0	12	266580	139954
23	10	13	244472	128342
25	8	14	225516	118495
27	6	15	209045	109748
29	4	16	194673	102202
31	2	17	181992	95575
33	0	18	170685	89619

Pièces de 20 po. sur 23 po.

11	6	6	579489	304231
13	5	7	493582	259130
15	4	8	429152	225304
17	3	9	378966	198957
19	2	10	338883	177913
21	1	11	306089	163846
23	0	12	270321	141913
24	11	13	255584	134181
26	10	14	235767	123777
28	9	15	218547	114736
30	8	16	203459	106805
32	7	17	190264	99888
34	6	18	178443	93682

Pièces de 20 po. sur 24 po.

12	0	6	604684	317459
14	0	7	515042	270397
16	0	8	447811	235100
18	0	9	395443	207607
20	0	10	353617	185648
22	0	11	319397	167682
24	0	12	290822	152681
26	0	13	266696	140015

Pièces de 20 po. sur 24 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi. po.			
28 0	14	246017	129158
30 0	15	228049	119725
32 0	16	212371	111489
34 0	17	198531	104228
36 0	18	186201	97755

Pièces de 20 po. sur 25 po.

12 6	6	629880	330687
14 7	7	536502	281663
16 8	8	496470	244896
18 9	9	411920	216258
20 10	10	368352	193386
22 11	11	332705	174669
25 0	12	302940	159043
27 1	13	277809	145849
29 2	14	256268	134540
31 3	15	237552	124714
33 4	16	221220	116140
35 5	17	206809	108574
37 6	18	193960	101329

Pièces de 20 po. sur 26 po.

13 0	6	655075	344913
15 2	7	557962	292930
17 4	8	485128	254692
19 6	9	428396	224907
21 8	10	383086	201120
23 10	11	346013	181656
26 0	12	315059	165404
28 2	13	288921	151683
30 4	14	266519	139921
32 6	15	247052	129702
34 8	16	230068	120785
36 10	17	215081	112292
39 0	18	201718	105899

Pièces de 20 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
13 6	6	680270	357141
15 9	7	579423	304196
18 10	8	503787	264487
20 3	9	444873	233557
22 6	10	397820	208855
24 9	11	359321	188643
27 0	12	327175	172266
29 3	13	300033	157516
31 6	14	276770	145304
33 9	15	256556	134691
36 0	16	238917	125430
38 3	17	223354	117260
40 6	18	209476	109974

Pièces de 20 po. sur 28 po.

14 0	6	705465	370368
16 4	7	600883	315463
18 8	8	522445	274283
21 0	9	461350	242208
23 4	10	412554	216590
25 8	11	372630	195630
28 0	12	339292	178128
30 4	13	311146	163351
32 8	14	287020	150685
35 0	15	266058	139675
37 4	16	247756	129077
39 8	17	231626	121603
42 0	18	217235	114047

Pièces de 20 po. sur 29 po.

14 6	6	730660	383596
16 11	7	622343	326729
19 4	8	541217	284138
21 9	9	477827	250858
24 2	10	427288	224326
26 7	11	385938	202617
29 0	12	351493	184533
31 5	13	322258	169685
33 10	14	297271	156065

Pièces de 20 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.			
36 3	15	275560	144669
38 4	16	256615	134712
41 1	17	239893	125943
43 6	18	224993	118120

Pièces de 20 po. sur 30 po.

15 0	6	755856	496824
17 6	7	643803	337996
20 0	8	559764	293876
22 6	9	494304	259509
25 0	10	442022	222051
27 6	11	399246	209604
30 0	12	363528	190852
32 6	13	333371	175019
35 0	14	307522	161449
37 6	15	285062	149657
40 0	16	265464	139368
42 6	17	248171	130289
45 0	18	232752	122194

Pièces de 21 po. sur 21 po.

10 6	6	555554	291665
12 3	7	473195	248426
14 0	8	411426	215998
15 9	9	363313	190738
17 6	10	324886	170565
19 3	11	293446	154059
21 0	12	267193	140275
22 9	13	245027	128638
24 6	14	226021	118660
26 3	15	209520	109998
28 0	16	195116	102435
29 9	17	182405	95760
31 6	18	171072	89812

Pièces de 21 po. sur 22 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
11	0	6	582006	295053
12	10	7	495728	260257
14	8	8	431030	226290
16	6	9	380614	199832
18	4	10	340357	178686
20	2	11	307419	161394
22	0	12	279916	146955
23	10	13	256695	134764
25	8	14	236792	124315
27	6	15	219498	114711
29	4	16	204407	107313
31	2	17	191092	100323
33	0	18	179224	94092

Pièces de 21 po. sur 23 po.

11	6	6	608464	319443
13	5	7	518261	272086
15	4	8	450610	236560
17	3	9	397914	208904
19	2	10	355828	186809
21	1	11	321393	168730
23	0	12	292640	153636
24	11	13	269133	141294
26	10	14	247555	129965
28	9	15	229475	120573
30	8	16	213698	112186
32	7	17	199766	104877
34	6	18	187365	98366

Pièces de 21 po. sur 24 po.

12	0	6	634919	333331
14	0	7	540794	283916
16	0	8	470201	246850
18	0	9	415215	217567
20	0	10	371298	194931
22	0	11	335367	176067
24	0	12	305363	160315
26	0	13	280031	147015
28	0	14	258318	135616

Pièces de 21 po. sur 24 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
30	0	15	239452	125712
32	0	16	222989	117068
34	0	17	220228	115619
36	0	18	195511	102642

Pièces de 21 po. sur 25 po.

12	6	6	661373	347220
14	7	7	563328	295747
16	8	8	489793	257140
18	9	9	432561	227094
20	10	10	386769	203053
22	11	11	349340	182878
25	0	12	318087	166995
27	1	13	291699	153141
29	2	14	269082	141368
31	3	15	249429	130949
33	4	16	232281	121947
35	5	17	217149	114002
37	6	18	203668	106920

Pièces de 21 po. sur 26 po.

13	0	6	687828	361109
15	2	7	585861	307576
17	4	8	509385	267426
19	6	9	449372	235920
21	8	10	402440	211281
23	10	11	363314	190739
26	0	12	330810	174675
28	2	13	303367	159267
30	4	14	279845	146918
32	6	15	259406	136188
34	8	16	241572	126825
36	10	17	225835	118562
39	0	18	211804	111197

Pieces de 21 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
13	6	6	714283	374998
15	9	7	608394	319406
18	10	8	528976	277712
20	3	9	467117	245245
23	6	10	417711	219297
24	9	11	377289	198076
27	0	12	343534	180355
29	0	13	315135	165445
31	6	14	283465	148818
33	9	15	269384	141426
36	0	16	250863	131702
38	3	17	234522	123649
40	6	18	219950	115473

Pièces de 21 po. sur 28 po.

14	0	6	740738	388887
16	4	7	630927	331236
18	8	8	548692	288063
21	0	9	484417	254318
23	4	10	433181	227419
25	8	11	390352	204934
28	0	12	356257	187034
30	4	13	326703	171518
32	8	14	301371	158619
35	0	15	279361	146664
37	4	16	260154	136580
39	8	17	243201	127681
42	0	18	228096	119750

Pièces de 21 po. sur 29 po.

14	6	6	767193	402775
16	11	7	653460	343119
19	4	8	568160	298284
21	9	9	501718	263401
24	2	10	448652	235542
26	7	11	405235	212747
29	0	12	368980	193694
31	5	13	338371	177594

Pièces de 21 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
33	10	14	312135	163870
36	3	15	289338	152902
38	4	16	269445	141458
41	1	17	251893	132243
43	6	18	236243	124037

Pièces de 21 po. sur 30. po.

15	0	6	793648	416665
17	6	7	675850	354821
20	0	8	587752	308569
22	6	9	519019	272484
25	0	10	464123	243664
27	6	11	419208	220084
30	0	12	381704	210394
32	6	13	350039	183769
35	0	14	322898	169521
37	6	15	299315	157139
40	0	16	278799	146368
42	6	17	260579	136803
45	0	18	244389	128303

Pièces de 22 po. sur 22 po.

11	0	6	609724	320105
12	10	7	519334	272650
14	8	8	451543	237059
16	6	9	398738	209337
18	4	10	356544	187185
20	2	11	322058	169080
22	0	12	293244	153953
23	10	13	268918	141181
25	8	14	248068	130235
27	6	15	229950	120723
29	4	16	214141	112423
31	2	17	200191	105099
33	0	18	188863	99152

Pièces de 22 po. sur 23 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes
pi.	po.			
11	6	6	637438	334154
13	5	7	542940	295043
15	4	8	472067	242584
17	3	9	416863	218852
19	2	10	372772	195705
21	1	11	336698	176766
23	0	12	306575	160951
24	11	13	281143	147599
26	10	14	259343	136154
28	9	15	240402	126211
30	8	16	223874	117533
32	7	17	209291	109877
34	6	18	196287	103050

Pièces de 22 po. sur 24 po

12	0	6	665153	349204
14	0	7	566546	297436
16	0	8	492592	258610
18	0	9	434987	228315
20	0	10	388999	204223
22	0	11	351336	184451
24	0	12	319904	167949
26	0	13	287810	151100
28	0	14	270619	141574
30	0	15	250854	131698
32	0	16	233608	122644
34	0	17	218390	114654
36	0	18	204844	107543

Pièces de 22 po. sur 25 po.

12	6	6	692868	363755
14	7	7	590153	309826
16	8	8	513103	269378
18	9	9	453112	237883
20	10	10	405187	212670
22	11	11	365976	292137
25	0	12	333234	174947

Pièces de 22 po. sur 25 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
27	1	13	305590	160433
29	2	14	281895	147994
31	3	15	261307	136685
33	4	16	243342	127754
35	5	17	227490	119484
37	6	18	213356	112011

Pièces de 22 po. sur 26 po.

13	0	6	720582	378305
15	2	7	613759	319072
17	4	8	533646	280164
19	6	9	471236	247398
21	8	10	421394	226045
23	10	11	380615	199822
26	0	12	346553	181946
28	2	13	317813	166851
30	4	14	293178	153918
32	6	15	271759	142672
34	8	16	253075	132863
36	10	17	236589	124208
39	0	18	221890	116487

Pièces de 22 po. sur 27 po.

13	6	6	748630	393030
15	9	7	637365	334619
18	10	8	554166	290937
20	3	9	489358	256912
22	6	10	437602	229741
24	9	11	395254	207508
27	0	12	359892	188943
29	3	13	330037	173268
31	6	14	304447	159834
33	9	15	282211	148160
36	0	16	262809	137974
38	3	17	245689	128986
40	6	18	230424	120972

Pièces de 21 po. sur 29 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
14	6	6	767193	402775
16	11	7	653460	343119
19	4	8	568160	298284
21	9	9	501518	263401
24	2	10	448652	235542
26	7	11	405235	212747
29	0	12	368980	193694
31	5	13	338371	177594
33	10	14	312135	163870
36	3	15	289338	152902
38	4	16	269445	141458
41	1	17	251893	132243
43	6	18	236243	124037

Pièces de 21 po. sur 30 po.

15	0	6	793648	416665
17	6	7	675850	354821
20	0	8	587752	308569
22	6	9	519019	272484
25	0	10	464123	243664
27	6	11	419208	220084
30	0	12	381704	210394
32	6	13	350039	183769
35	0	14	322898	169521
37	6	15	299315	157139
40	0	16	278799	146368
42	6	17	260579	236803
45	0	18	244389	128303

Pièces de 22 po. sur 22 po.

11	0	6	609724	320105
12	10	7	519334	372650
14	8	8	451543	237059
16	6	9	398738	209337
18	4	10	356544	187185
20	2	11	322058	169080
22	0	12	293244	153953
23	10	13	268918	141181

Pièces de 22 po. sur 22 po.

Longu. des pieces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
25	8	14	248068	130235
27	6	15	229950	120723
29	4	16	214141	112423
31	2	17	200191	105099
33	0	18	188863	99152

Pièces de 22 po. sur 23 po.

11	6	6	637438	334154
13	5	7	542940	295043
15	4	8	472867	242584
17	3	9	416863	218852
19	2	10	372772	195705
21	1	11	336698	176766
23	0	12	306575	160951
24	11	13	281143	147599
26	10	14	259343	136154
28	9	15	240402	126211
30	8	16	223874	117533
32	7	17	209291	109877
34	6	18	196287	103050

Pièces de 22 po. sur 24 po.

12	0	6	665153	349204
14	0	7	566546	297436
16	0	8	492592	258610
18	0	9	434987	228315
20	0	10	388999	204223
22	0	12	351336	184451
24	0	12	319904	167949
26	0	13	287810	151100
28	0	14	270619	141574
30	0	15	250854	131698
32	0	16	233608	122644
34	0	17	218390	114654
36	0	18	204844	107543

Pièces de 22 po. sur 25 po.

Longu. des pièces. pi.	po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
12	6	6	692868	363755
14	7	7	590153	309826
16	8	8	513103	269378
18	9	9	453112	237883
20	10	10	405187	212670
22	11	11	365976	192137
25	0	12	333234	174947
27	1	13	305590	160433
29	2	14	281895	147994
31	3	15	261307	136685
33	4	16	243342	127754
35	5	17	227490	119484
37	6	18	213356	112011

Pièces de 22 po. sur 26 po.

13	0	6	720582	378305
15	2	7	613759	319072
17	4	8	533646	280164
19	6	9	471236	247398
21	8	10	421394	226045
23	10	11	380615	199822
26	0	12	346563	181945
28	2	13	317813	166851
30	4	14	294178	153918
32	6	15	271759	142672
34	8	16	253075	132863
36	10	17	236589	124208
39	0	18	221890	116487

Pièces de 22 po. sur 27 po.

13	6	6	748630	393030
15	9	7	637365	314619
18	10	8	554166	290937
20	3	9	489358	256912
23	6	10	437602	229741
24	9	11	395254	207508
27	0	12	359892	188943
29	3	13	330037	173268

Pièces de 22 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
31	6	14	304447	159834
33	9	15	282211	148160
36	0	16	262809	137974
38	3	17	245689	128986
40	6	18	230424	120972

Pièces de 22 po. sur 28 po.

14	0	6	776012	407400
16	4	7	660971	347009
18	8	8	574691	301712
21	0	9	507485	266429
23	4	10	453809	238249
25	8	11	409893	215193
28	0	12	373222	195941
30	4	13	342260	179686
32	8	14	315723	165754
35	0	15	292664	153648
37	4	16	272543	143084
39	8	17	243024	127587
42	0	18	238958	125452

Pièces de 22 po. sur 29 po.

14	6	6	803726	421956
16	11	7	684577	359401
19	4	8	595215	312487
21	9	9	525609	275944
24	2	10	470017	246758
26	7	11	424532	228099
29	0	12	386551	208188
31	5	13	354484	186104
33	10	14	326998	171673
36	3	15	303116	159135
38	4	16	282276	148194
41	1	17	263888	138016
43	6	18	247493	129922

Pièces de 22 po. sur 30 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
15	0	6	831441	436506
17	6	7	708183	371795
20	0	8	615740	323263
22	6	9	543734	285460
25	0	10	486224	255267
27	6	11	339171	230561
30	0	12	399880	209937
32	6	13	366708	192521
35	0	14	338874	177908
37	6	15	313568	164623
40	0	16	292010	153305
42	6	17	272988	143318
45	0	18	256027	134413

Pièces de 23 po. sur 23 po.

11	6	6	666413	349866
13	5	7	567620	298000
15	4	8	493525	259100
17	3	9	435814	228802
19	2	10	389716	204600
21	1	11	352002	184801
23	0	12	320510	168267
24	11	13	293922	154309
26	10	14	271132	142344
28	9	15	251330	132948
30	8	16	234050	122876
32	7	17	218804	114872
34	6	18	205207	107733

Pièces de 23 po. sur 24 po.

12	0	6	695387	365077
14	0	7	592299	310956
16	0	8	514983	270365
18	0	9	454759	238747
20	0	10	406660	213496
22	0	11	367306	192835
24	0	12	334445	175583
26	0	13	306701	161017
28	0	14	282920	148480

Pièces de 23 po. sur 24 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
30	0	15	262257	137184
32	0	16	244227	128218
34	0	17	228317	119865
36	0	18	214130	112418

Pièces de 23 po. sur 25 po.

12	6	6	724362	380290
14	7	7	616964	323906
16	8	8	536440	281631
18	9	9	473708	243646
20	10	10	423604	222392
22	11	11	382611	200870
25	0	12	348381	182899
27	1	13	319480	167727
29	2	14	294708	154721
31	3	15	273184	143421
33	4	16	254403	133261
35	5	17	237830	124860
37	6	18	223052	117102

Pièces de 23 po. sur 26 po.

13	0	6	753336	395501
15	2	7	641657	336921
17	4	8	557898	292896
19	6	9	492656	258644
21	8	10	440548	231287
23	10	11	397917	208905
26	0	12	362316	190215
28	2	13	332259	174435
30	4	14	306497	166160
32	6	15	284112	147158
34	8	16	264579	138903
36	10	17	247341	129855
39	0	18	231974	121786

Pièces de 23 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
13	6	6	782310	410712
15	9	7	666336	349826
18	10	8	579355	304160
20	3	9	511604	268592
23	6	10	457493	240183
24	9	11	413220	216940
27	0	12	376251	197531
29	3	13	345039	181144
31	6	14	318285	167099
33	9	15	295039	154894
36	0	16	274755	143745
38	3	17	256857	134849
40	6	18	240896	126470

Pièces de 23 po. sur 28 po.

14	0	6	811452	426012
16	4	7	691015	362257
18	8	8	600813	315426
21	0	9	530553	278489
23	4	10	474437	249078
25	8	11	428524	224975
28	0	12	390186	204847
30	4	13	357817	187853
32	8	14	330074	173288
35	0	15	305967	160632
37	4	16	284993	149620
39	8	17	266370	139844
42	0	18	249819	131154

Pièces de 23 po. sur 29 po.

14	6	6	840259	441135
16	11	7	715694	375791
19	4	8	622270	326691
21	9	9	549504	298489
24	2	10	491381	257974
26	7	11	443829	233069
29	0	12	404121	212163
31	5	13	370597	194562
33	10	14	341862	179477

Pièces de 23 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
36	3	15	316894	164369
38	4	16	295107	154930
41	1	17	275883	144838
43	6	18	258741	135838

Pièces de 23 po. sur 30 po.

15	0	6	869234	456347
17	6	7	740374	388696
20	0	8	643728	337957
22	6	9	568449	298435
25	0	10	508325	266870
27	6	11	459133	241044
30	0	12	418057	219479
32	6	13	383376	201272
35	0	14	353651	185666
37	6	15	327821	172105
40	0	16	305283	160273
42	6	17	285397	149832
45	0	18	267663	140522

Pièces de 24 po. sur 24 po.

12	0	6	725621	380950
14	0	7	618051	324476
16	0	8	537373	282120
18	0	9	474534	249130
20	0	10	424341	222726
22	0	11	383276	201219
24	0	12	348986	183217
26	0	13	320036	168018
28	0	14	295221	154990
30	0	15	273659	143670
32	0	16	254845	133790
34	0	17	238244	125078
36	0	18	223440	117306

Pièces de 24 po. sur 25 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
12	6	6	755856	396824
14	7	7	643803	337946
16	8	8	559767	293877
18	9	9	494304	259509
20	10	10	442022	232061
22	11	11	399246	209604
25	0	12	363528	190852
27	1	13	333371	175019
29	2	14	307522	161449
31	3	15	285062	149657
33	4	16	265464	139368
35	5	17	248171	130289
37	6	18	232750	122193

Pièces de 24 po. sur 26 po.

13	0	6	786090	412697
15	2	7	669555	351515
17	4	8	582154	305630
19	6	9	514076	269889
21	8	10	459703	241343
23	10	11	415216	217988
26	0	12	378069	198485
28	2	13	346705	182019
30	4	14	319823	167906
32	6	15	296451	155636
34	8	16	276082	144943
36	10	17	258098	135501
39	0	18	242060	127081

Pièces de 24 po. sur 27 po.

13	6	6	816324	428560
15	9	7	695307	364983
18	10	8	604545	317385
20	3	9	533848	280270
23	6	10	477384	250626
24	9	11	431186	226372
27	0	12	392610	206120
29	3	13	360041	189021

Pièces de 24 po. sur 27 po.

Longu. des pièces. pi. po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
31 6	14	332124	174365
33 9	15	307867	161629
36 0	16	286701	150517
38 3	17	268025	140712
40 6	18	251370	132969

Pièces de 24 po. sur 28 po.

14 0	6	846558	447592
16 4	7	721059	378555
18 8	8	626935	329140
21 0	9	553620	290650
23 4	10	495065	259908
25 8	11	447156	234756
28 0	12	407151	213753
30 4	13	373375	206021
32 8	14	344425	180822
35 0	15	319269	167615
37 4	16	297319	156091
39 8	17	277951	145923
42 0	18	260680	136857

Pièces de 24 po. sur 29 po.

14 6	6	876792	460315
16 11	7	746811	392075
19 4	8	649326	340596
21 9	9	573392	301030
24 2	10	512745	263970
26 7	11	463125	243140
29 0	12	421692	226269
31 5	13	385941	202618
33 10	14	350725	187280
36 3	15	330672	173602
38 4	16	307938	161667
41 1	17	287878	151135
43 6	18	269990	140744

Pièces de 24 po. sur 30 po.

Longu. des pièces. pi. po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
15 0	6	892027	468313
17 6	7	772561	395596
20 0	8	671716	352650
22 6	9	593164	311411
25 0	10	530126	278173
27 6	11	479095	251524
30 0	12	436233	229021
32 6	13	400045	210023
35 0	14	369026	194738
37 6	15	342074	179583
40 0	16	318556	167241
42 6	17	297805	156417
45 0	18	279300	146632

Pièces de 25 po. sur 25 po.

12 6	6	787350	413358
14 7	7	670628	351879
16 8	8	583087	306120
18 9	9	514788	270263
20 10	10	460440	241731
22 11	11	415881	218337
25 0	12	378675	198803
27 1	13	347261	182311
29 2	14	320335	168175
31 3	15	296940	155893
33 4	16	276525	145175
35 5	17	258511	135687
37 6	18	242448	127285

Pièces de 25 po. sur 26 po.

13 0	6	818844	429893
15 2	7	697453	366162
17 4	8	606411	318365
19 6	9	534607	280668
21 8	10	478857	251399
23 10	11	432517	227070
26 0	12	393822	206756
28 2	13	361152	189604

Pièces de 25 po. sur 26 po.

Longu. des pièces. pi. po.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
30 4	14	333149	175902
32 6	15	309417	162443
34 8	16	287586	150982
36 10	17	268852	141147
39 0	18	252146	132356

Pièces de 25 po. sur 27 po.

13 6	6	852171	447389
15 9	7	724279	380245
18 10	8	629734	330610
20 3	9	556092	291948
23 6	10	497275	261068
24 9	11	449152	235804
27 0	12	408969	214608
29 3	13	375042	196897
31 6	14	345962	179630
33 9	15	320695	168364
36 0	16	298647	156789
38 3	17	279192	146573
40 6	18	261844	137468

Pièces de 25 po. sur 28 po.

14 0	6	881832	463014
16 4	7	751104	394329
18 8	8	653058	342855
21 0	9	576665	302748
23 4	10	515692	270738
25 8	11	465787	244537
28 0	12	424116	222660
30 4	13	388933	204189
32 8	14	358776	188357
35 0	15	332572	174600
37 4	16	309708	162596
39 8	17	289533	152004
42 0	18	271542	142559

Pièces de 25 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi	po.			
14	6	6	913326	479443
16	11	7	777929	408412
19	4	8	676381	355099
21	9	9	586173	307710
24	2	10	534110	280407
26	7	11	482422	253271
29	0	12	439263	230612
31	5	13	402823	211481
33	10	14	371589	195083
36	3	15	344450	180836
38	4	16	320769	168403
41	1	17	299873	157432
43	6	18	281240	147651

Pièces de 25 po. sur 30 po.

15	0	6	944820	496030
17	6	7	804754	422495
20	0	8	676381	355099
22	6	9	597284	313574
25	0	10	552528	290077
27	6	11	499058	262005
30	0	12	454410	238565
32	6	13	416713	218773
35	0	14	384402	201811
37	6	15	356328	187074
40	0	16	331830	174210
42	6	17	310214	162862
45	0	18	290938	152742

Pièces de 26 po. sur 26 po.

13	0	6	851597	447087
15	2	7	725352	380809
17	4	8	630642	331087
19	6	9	554693	291213
21	8	10	498011	261455
23	10	11	449817	236153
26	0	12	409574	215026
28	2	13	375598	197188

Pièces de 26 po. sur 26 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
30	4	14	346475	181898
32	6	15	321170	168614
34	8	16	299089	157021
36	10	17	279606	146693
39	0	18	262232	137671

Pièces de 26 po. sur 27 po.

13	6	6	884351	464283
15	9	7	753250	395456
18	10	8	654924	343835
20	3	9	578337	303576
23	6	10	517166	271512
24	9	11	467118	245636
27	0	12	425327	223296
29	3	13	390044	204773
31	6	14	359801	188895
33	9	15	334789	175763
36	0	16	310592	163060
38	3	17	290360	152439
40	6	18	272318	142966

Pièces de 26 po. sur 28 po.

14	0	6	917105	481479
16	4	7	781148	410102
18	8	8	679180	356569
21	0	9	599755	314870
23	4	10	536320	281568
25	8	11	484419	254319
28	0	12	441080	231567
30	4	13	404490	212357
32	8	14	373127	195891
35	0	15	345875	181478
37	4	16	322096	169100
39	8	17	301114	158084
42	0	18	282404	148262

Pièces de 26 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
14	6	6	949859	498675
16	11	7	809046	424749
19	4	8	703436	369303
21	9	9	621175	326105
24	2	10	555474	291623
26	7	11	501719	263401
29	0	12	456833	239836
31	5	13	418935	219940
33	10	14	386453	203587
36	3	15	358228	188069
38	4	16	333599	175138
41	1	17	313045	164348
43	6	18	292490	153557

Pièces de 26 po. sur 30 po.

15	0	6	982612	515871
17	6	7	836944	439395
20	0	8	727693	382039
22	6	9	642595	337361
25	0	10	574629	301684
27	6	11	519020	272385
30	0	12	472586	248107
32	6	13	433382	227525
35	0	14	399779	209883
37	6	15	370181	195554
40	0	16	345103	181178
42	6	17	322622	169376
45	0	18	302575	158851

Pièces de 27 po. sur 27 po.

13	6	6	918365	472141
15	9	7	782221	410665
18	10	8	680113	357058
20	3	9	600579	315303
23	6	10	537057	281954
24	9	11	485084	254669
27	0	12	441686	231885
29	5	13	405045	212648

Pièces de 27 po. sur 27 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
31	7	14	373639	196159
33	9	15	346350	181833
36	0	16	322538	170332
38	3	17	301528	158302
40	6	18	282792	148465

Pièces de 27 po. sur 28 po.

14	0	6	952378	499998
16	4	7	811192	425875
18	8	8	705302	370283
21	0	9	622823	326981
23	4	10	556978	292402
25	8	11	503050	274101
28	0	12	458045	240479
30	4	13	420057	220529
32	8	14	387478	203425
35	0	15	359178	188568
37	4	16	334484	176604
39	8	17	312695	164164
42	0	18	293265	153963

Pièces de 27 po. sur 29 po.

14	6	6	986392	517855
16	11	7	840163	441124
19	4	8	730492	384008
21	9	9	633955	332520
24	2	10	576839	292339
27	7	11	521016	278043
29	0	12	474404	249062
31	5	13	435057	228404
33	10	14	401316	210690
36	3	15	372006	195303
38	4	16	346805	182072
41	1	17	323863	170027
43	6	18	303739	159462

Pièces de 27 po. sur 30 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po			
15	0	6	1020405	535712
17	6	7	869134	456295
20	0	8	755681	376732
22	6	9	667310	350337
25	0	10	596730	313283
27	6	11	538982	289965
30	0	12	490762	257650
32	6	13	450050	236276
35	0	14	415155	218955
37	6	15	384834	202037
40	0	16	358376	188147
42	6	17	335032	175891
45	0	18	314213	164961

Pièces de 28 po. sur 28 po.

14	0	6	987651	518068
16	4	7	841236	441648
18	8	8	731425	383997
21	0	9	645890	338567
23	4	10	577575	303226
25	8	11	521654	273864
28	0	12	475009	249379
30	4	13	435605	228692
32	8	14	401829	210959
35	0	15	372481	195552
37	4	16	346872	182107
39	8	17	324277	170244
42	0	18	304127	159666

Pièces de 28 po. sur 29 po.

14	6	6	1022925	536193
16	11	7	871280	457422
19	4	8	757547	397711
21	9	9	665958	349627
24	2	10	598203	314056
27	7	11	540313	283663
29	0	12	492307	258460

Pièces de 28 po. sur 29 po.

Longu. des pièces.		Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi.	po.			
31	5	13	451162	237860
33	10	14	416180	218442
36	3	15	385517	207645
38	4	16	359260	188611
41	1	17	335858	178325
43	6	18	314980	165364

Pièces de 28 po. sur 30 po.

15	0	6	1058198	555553
17	6	7	901324	473195
20	0	8	783669	411425
22	6	9	692025	363312
25	0	10	618831	324825
27	6	11	558945	293445
30	0	12	508939	267292
32	6	13	466619	245026
35	0	14	430531	226028
37	6	15	399020	209485
40	0	16	371649	195115
42	6	17	347439	182404
45	0	18	327850	172121

Pièces de 29 po. sur 29 po.

14	9	6	1059458	646215
16	11	7	902397	473757
19	4	8	784602	411916
21	9	9	692849	363745
24	2	10	619568	325273
27	7	11	559610	293795
29	0	12	509545	266985
31	5	13	467275	245318
33	10	14	431043	225297
36	3	15	399562	209760
38	4	16	372092	195348
41	1	17	347853	182622
43	6	18	326283	171274

Pièces de 29 po. sur 30 po.				Pièces de 30 po. sur 30 po.			
Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.	Longu. des pièces.	Rapp. de l'épaiss. vertic. à la long.	Force en livres.	Force en kilogrammes.
pi. po.				pi. po.			
15 0	6	1095991	575394	15 0	6	1133784	595236
17 6	7	933514	490094	17 6	7	965705	506994
20 0	8	811657	426119	20 0	8	839646	440814
22 6	9	716740	379288	22 6	9	741456	390264
25 0	10	640932	336489	25 0	10	663033	348091
27 6	11	578997	303925	27 6	11	598869	314405
30 0	12	527115	276734	30 0	12	545292	286278
32 6	13	483387	253777	32 6	13	500055	262528
35 0	14	445907	234100	35 0	14	461284	242174
37 6	15	413347	217006	37 6	15	427593	224485
40 0	16	384222	202084	40 0	16	398321	209113
42 6	17	359848	188920	42 6	17	362257	190684
45 0	18	337488	171181	45 0	18	349126	183291

Quoique ces tables ne soient calculées que pour le bois de chêne, on peut en faire usage pour toutes sortes de bois, en connaissant sa force primitive et son rapport avec celle du bois de chêne. Pour en rendre l'application plus facile, nous avons dressé la table suivante, dans laquelle on a réuni les forces absolues et les forces primitives de plusieurs espèces de bois, parmi lesquelles il s'en trouve de propres à la charpente.

TABLE *pour servir à l'application des méthodes précédentes, dans laquelle sont indiquées les forces absolues et primitives des différentes espèces de bois, comparées à celles du chêne, dont la force primitive horizontale est évaluée à* 1000.

DÉSIGNATION DES BOIS.	Force primitive horizontale.	Force primitive verticale.	Force absolue.	DÉSIGNATION DES BOIS.	Force primitive horizontale.	Force primitive verticale.	Force absolue.
Abricotier	1096	1255	2040	Mélèze.	843	902	1460
Acacia jaune. . .	780	1228	1560	Merisier	916	932	1580
Alisier	1142	1468	2104	Mûrier.	981	1031	1050
Arbousier	857	1062	1620	Noisettier	1008	1061	1621
Arbre de Judée. .	939	857	1840	Noyer commun .	900	753	1120
Aune commun. .	644	780	2080	Noyer d'Amériq.	864	701	1020
Bois de Ste.-Lucie	1095	981	2231	Oranger	1180	843	2340
Bouleau commun	853	861	1980	Orme	1077	1075	1980
Buis de Mahon. .	1160	1444	2324	Peuplier d'Italie .	586	680	940
Cèdre	627	720	1740	Picca.	817	715	1140
Cerisier.	961	986	1912	Pin du nord . .	882	804	1041
Charme commun	1034	1022	2189	Plane	728	830	1916
Châtaigner. . . .	957	950	1944	Platane d'Orient.	776	874	931
Chêne commun .	1000	807	1821	Platane d'Occid. .	853	941	1031
Citronnier	1192	871	1460	Poirier sauvage .	883	896	1120
Cyprès.	682	869	1880	Poirier.	850	816	1680
Ébénier des Alpes	1155	1062	2321	Pommier.	976	903	1187
Épine blanche . .	957	892	1915	Prunier	950	843	1770
Érable de Virginie	1094	843	2094	Sapin	918	851	1250
Érable jaspé . . .	1196	862	2135	Saule	850	807	1880
Faux acacia. . . .	1305	1120	1791	Sicomore.	900	968	1564
Févier sans épines	1024	1063	2030	Sorbier.	965	981	1642
Frêne	1072	1112	1800	Sureau.	1072	789	1500
Hêtre.	1032	986	2480	Thuya de la Chine	707	741	1113
If	1037	1375	2287	Tilleul.	750	717	1407
Limonier.	1087	858	1400	Tremble	624	717	1293
Mahaleb	1995	1232	2171	Tulipier	563	682	981
Marronnier. . . .	931	689	1231	Vernis du Japon.	758	805	1201

Application pour la force horizontale.

Si l'on veut connaître la force d'une solive en bois de sapin de 18 pieds de long sur 6 et 8 pouces de gros,

on cherchera dans la grande table celle d'une solive en bois de chêne, de même dimension, qu'on trouvera de 11645 : ayant vu ensuite dans la page précédente que la force primitive du chêne posé horizontalement est à celle du sapin comme 1000 est à 918, on fera la proportion 1000 : 918 :: 11645 est à un quatrième terme, qu'on trouvera égal à 10690, qui exprimera la plus grande force de cette solive de sapin, c'est-à-dire, sous laquelle elle se romprait. En retranchant le dernier chiffre, on aura 1069 pour la charge qu'on peut lui faire porter sans risque.

Si cette solive est en bois de châtaignier, dont la force primitive est de 957, on fera la proportion de 1000 : 957 :: 11645 est à un quatrième terme, qui donnera 11144 pour la plus grande force de cette solive, et 1114 pour la charge qu'on peut lui faire porter sans risque.

Application pour la force verticale.

S'il s'agit de connaître la force verticale d'un poteau de chêne de 9 pouces en carré sur 9 pieds de hauteur, on cherchera dans la table précédente la force verticale primitive de cette espèce de bois, qu'on trouvera de 807 pour 18 lignes de superficie de base. Mais, comme cette force doit diminuer en raison du nombre de fois que la largeur de la base est contenue dans la longueur du poteau, qui est pour ce cas-ci de 12 fois, on ne prendra que les $\frac{5}{6}$ de 807 d'après la progression de la page 69, c'est-à-dire, 672 $\frac{1}{2}$.

Ce poteau ayant 9 pouces en carré de grosseur, présentera une superficie de 11644 lignes carrées, laquelle étant divisée par 18 donnera 648, et pour la plus grande

charge quelle puisse porter avant de se rompre $648 \times 672\frac{1}{3} = 435780$, et 43578 pour celle qu'on peut lui confier sans risque.

Si ce poteau, au lieu d'être en chêne, était en sapin, dont la force primitive verticale est à celle du chêne comme 851 est à 807, on n'aurait, pour avoir sa plus grande force, qu'à faire la proportion 807 : 435780 :: 851 est à un quatrième terme, qui donnera pour cette force 459540, et 45954 pour la plus grande charge à lui faire soutenir.

Application pour la force absolue.

Relativement à cette force, qui est celle avec laquelle le bois résiste étant tiré par les deux bouts, il suffit de multiplier la surface en lignes de la grosseur du bois par 1821, si c'est du bois de chêne, et diviser le produit par 18; le quotient indiquera la plus grande force que la pièce puisse soutenir.

Ainsi, pour une pièce en bois de chêne de 9 pouces en carré de grosseur, on aura $\frac{11664 \times 1821}{18}$ qui donnera, après avoir fait les calculs indiqués, 1180008; et, pour la plus grande charge à lui faire soutenir sans risques, 118000.

On voit par la table précédente que le hêtre est le bois qui a le plus de force pour résister à cet effort; de sorte qu'une pièce en bois de hêtre, de même dimension que la précédente, aurait une force exprimée par $\frac{11664 \times 2480}{18}$, qui donne 1607040 pour la plus grande force, et 160704 pour la plus grande charge.

De la force des bois inclinés.

Si l'on suppose qu'une pièce de bois verticale, telle que A B, fig. 2, devienne inclinée sur sa base, l'expérience prouve que sa force, pour soutenir un effort vertical, diminue en raison de ce que son inclinaison est plus grande; en sorte que, si de son extrémité supérieure on abaisse une verticale D *f*, et que du point de sa base B on tire une horizontale B C, la force de la pièce sera d'autant moindre que la partie B *f* sera plus grande : d'où il résulte, 1°. que la force d'une pièce de bois verticale est à celle d'une pièce de bois inclinée, de même longueur et grosseur, comme la longueur A B est à B*f*, comme le rayon ou sinus total est au sinus de l'inclinaison de la pièce; 2°. que les pièces verticales sont celles qui ont le plus de force pour soutenir un fardeau, et que celles qui en ont le moins sont les pièces horizontales. Le premier de ces résultats fournit une méthode facile de trouver, par le moyen de la table précédente, la force d'une pièce de bois dont on connaît la longueur et l'inclinaison.

Soit, par exemple, une pièce de bois de chêne de 9 pieds de longueur, et inclinée de 4 pieds 7 pouces 7 lignes, sur 8 à 9 pouces de grosseur ou de 96 à 108 lignes, produisant une superficie de 10368 lignes qu'on divisera par 18, ce qui donnera 576 : on cherchera ensuite, dans la table précédente, la force verticale primitive du bois de chêne, qu'on trouvera de 807 : mais, comme la longueur de cette pièce est plus de 12 fois la largeur de sa base, on ne prendra que les $\frac{5}{6}$ de 807, c'est-à-dire 672 $\frac{1}{2}$,

qu'on multipliera par 576, ce qui donnera 387360, et on fera la proportion 9 : 4 :: 387360 est à un quatrième terme, qui donnera 96850 pour la plus grande force de cette pièce, et 9684 pour la charge qu'elle pourrait porter sans risques.

SECTION DEUXIÈME.

De la combinaison des pièces de bois, pour former les ouvrages de charpente.

Les différens ouvrages de charpente que nous nous sommes proposé de traiter dans cet ouvrage, sont :

1°. Les pans de bois.
2°. Les planchers.
3°. Les combles.
4°. Les cintres, échafauds et étaiemens.
5°. Les voûtes en bois de charpente.
6°. Les ponts, *idem*.
7°. Les escaliers.
8°. Les machines à traîner et élever les fardeaux.

ARTICLE PREMIER.

Des pans de bois et des cloisons de charpente.

On désigne sous les noms de pans de bois et de cloisons de charpente, des espèces de murs, pour former ou diviser les bâtimens dans les pays où l'abondance des bois peut les faire préférer à des matériaux plus durables, mais plus coûteux à cause de leur rareté, tels que les pierres et les briques.

Les pans de bois, fig. 1 et 4, planche XCV, servent pour les faces des bâtimens, et les cloisons, figures 2 et 3, pour les divisions intérieures. On les forme ordinairement de poteaux posés debout, et espacés de manière que les vides sont égaux aux pleins. Ces poteaux s'assemblent à tenons et mortaises dans deux pièces de bois de niveau, appelées sablières, dont une placée par le haut et l'autre par le bas, indiquées par S. On place aux angles et aux extrémités des sablières des poteaux plus forts, appelés poteaux corniers, marqués A dans les pièces détaillées, et *a* dans les élévations. Ceux qui forment les baies de croisées ou de portes marqués B et *b*, sont appelés poteaux d'huisserie, du vieux mot *huis*, qui signifie porte.

C, linteau qui s'assemble dans les poteaux d'huisserie. L'ensemble des deux poteaux avec le linteau se nomme huisserie.

Les autres poteaux sont appelés poteaux de *remplage*, indiqués par les lettres *d*, c'est-à-dire, de remplissage.

Leur grosseur est ordinairement moindre que celle des poteaux d'huisserie et des poteaux corniers.

Pour obvier au relâchement des assemblages causé par le desséchement des bois, on place, dans les cloisons et pans de bois, des pièces de bois inclinées en sens contraire.

Ces pièces F*f* sont appelées *guettes*, lorsqu'elles ne sont inclinées que de deux ou trois fois leur épaisseur, et *décharges*, lorsque leur inclinaison est plus grande. On remplit les vides que laissent les décharges avec des poteaux taillés obliquement d'un bout, qu'on appelle *tournices*, désignés par les lettres H et *h*, figures 1, 2, 3 et 4. Ces tournices sont assemblées dans les décharges et les sablières. Quelquefois, au lieu de décharges ou de guettes, on forme des croix de Saint-André, désignées par les lettres *i*, figure 4. Les pièces qui les forment sont entaillées à mi-bois dans l'endroit où elles se croisent, et assemblées à tenons dans les sablières.

On garnit le dessus des linteaux et le dessous des appuis de croisées par des petits poteaux de remplissage, qu'on nomme *potelets*, indiqués par les lettres N et *n*, et quelquefois par de petites tournices, quand il s'y trouve des décharges.

Lorsqu'on a un plein ou trumeau L, fig. 1, à établir au-dessus d'une grande baie, outre les doubles sablières formant appuis et les décharges *f*, *f*, on peut ajouter une doublure ou renfort *g*, pour ne pas surcharger les sablières inférieures.

Les petits carrés entre les doubles sablières, marqués *o*, *o*, indiquent le bout des solives des planchers; il

en est de même de ceux marqués des mêmes lettres dans les figures 2 et 3.

Toutes les pièces qui composent un pan de bois, ou une cloison de charpente, doivent être assemblées à tenons et mortaises entrées de force et chevillées.

Pour les décharges et autres pièces de bois inclinées, on coupe le bout du tenon et des épaulemens du côté de l'angle aigu, de manière qu'il forme un angle droit, comme on le voit exprimé par la figure 5; on l'appelle tenon en about.

La partie des tournices coupée obliquement s'assemble avec les décharges par des tenons à tournices ou *oulices*, représentés par la figure 6, dont le bout est coupé carrément. On fait aussi usage, pour l'assemblage de ces pièces, des tenons en abouts, representés par la figure 7, parce qu'ils affaiblissent moins les décharges : quelquefois on se contente de couper les tournices obliquement, et de les arrêter contre les decharges avec de grands clous, appelés *dents de loup*, ou avec des chevillettes; mais ce moyen est moins solide.

Il est à propos de surveiller la pose des tournices, parce que les charpentiers ont coutume de n'y employer que les rebuts de chantiers et les plus mauvais bois, qu'ils font payer comme s'ils étaient bons et bien assemblés. Les cloisons et pans de bois de charpente étant construits à claire-voie, pour leur procurer la solidité et la fermeté nécessaire, indépendamment des décharges et des guettes qui obvient au relâchement des assemblages, il faut remplir en maçonnerie les intervalles entre les pièces de bois dont ils se compo-

sent, surtout les pans de bois. Cette maçonnerie peut être en moellons, en briques, ou en bons plâtras et plâtre.

Les pans de bois et les cloisons au rez-de-chaussée doivent être érigés sur des petits murs de maçonnerie, en bons moellons ou en pierres de taille, appelés parpains. Ces murs doivent être élevés au-dessus du sol au moins de deux pieds, afin de garantir les bois de l'humidité.

L'épaisseur d'un pan de bois élevé de trois à quatre étages est ordinairement de 8 à 9 pouces.

Lorsque deux pans de bois forment une encoignure, le poteau d'angle, appelé poteau cornier, doit avoir 9 à 10 pouces de gros; les sablières, 8 à 9 pouces; les décharges, guettes, branches de croix de Saint-André et poteaux d'huisserie, pour les portes et croisées, 7 à 8 pouces; les poteaux de remplissage, tournices et potelets, 6 à 7 pouces.

Lorsqu'un pan de bois est élevé sur un poitrail avec de grandes ouvertures pour boutiques ou portes cochères, chargé dans le milieu d'un trumeau séparant deux croisées, comme à la figure 1, il faut donner à l'épaisseur verticale de ce poitrail le douzième de la largeur de ces ouvertures; et, si le pan de bois porte plancher, on pourra faire sur le poitrail, au-dessus de chaque grande baie, une armature *f*, *g*, *f*, composée de deux décharges et un renfort, ainsi qu'aux sablières de chaque étage.

Pour les cloisons intérieures portant plancher, les poteaux d'aplomb doivent avoir pour épaisseur le douzième de leur hauteur. Les décharges et les sablières auront un pouce de plus en largeur et en épaisseur.

Pour les cloisons qui ne sont que de distribution, on

peut les faire avec du bois refendu, dont l'épaisseur ne soit que la moitié des précédens sur même largeur.

Il faut remarquer que les pans de bois et cloisons n'ont presque pas de stabilité par eux-mêmes, à cause de leur peu d'épaisseur, en sorte qu'ils ne se soutiendraient pas s'ils étaient isolés, et qu'ils ont besoin d'être reliés avec les murs ou cloisons en retour et par les planchers, tandis qu'un mur peut se soutenir sans ce moyen. Quand on donnerait à un pan de bois l'épaisseur d'un mur, comme sa pesanteur spécifique n'est que la moitié de celle d'un mur en moellons, il aurait encore moitié moins de stabilité.

La manière de construire les cloisons et pans de bois, avec des pièces jointives posées horizontalement, ainsi qu'on le pratique en Russie et dans plusieurs autres pays du nord de l'Allemagne, représentée par les figures 4 et 5 de la planche XCIII, a l'avantage de procurer aux édifices construits en bois une très-grande stabilité, à cause des assemblages à mi-bois qui réunissent les pièces d'un même rang à leurs extrémités; mais cette manière, qui exige plus du double de bois, ne peut convenir que pour les pays où il est très-abondant.

Lorsque les cloisons et pans de bois sont formés de poteaux posés debout, elles ont besoin d'être réunies par des pièces horizontales ou sablières, dans lesquelles les poteaux doivent être assemblés, et leur stabilité est en raison de ce que ces sablières sont plus ou moins éloignées les unes des autres.

Quand on fait ces cloisons à claire-voie comme celles représentées par les figures 1, 2, 3 et 4 de la planche XCV, il faut, pour leur donner plus de consistance et de fer-

meté, remplir les intervalles avec de la maçonnerie de petits moellons, de briques ou de plâtras. Lorsque ce remplissage est bien fait, il équivaut à des poteaux jointifs.

Il est bon de remarquer que la stabilité d'un pan de bois, indépendamment de son épaisseur, est moindre que celle d'un mur. Un pan de bois élevé de trois étages ne se soutiendrait pas s'il était isolé, tandis qu'un mur en pierres ou en briques de même élévation aurait une certaine stabilité.

Le degré de stabilité d'un pan de bois ou d'un mur est exprimé par son poids multiplié par la moitié de son épaisseur. Le poids moyen d'un pan de bois hourdé et ravalé en plâtre, comme on le pratique à Paris, est de 50 livres par pied superficiel pour une épaisseur moyenne de 8 pouces, ce qui donne pour l'expression de sa stabilité ou résistance, $50 \times 4 = 200$.

Un mur de face en moellons ou en pierres de dureté moyenne ou en briques, élevé de trois étages, devrait avoir, d'après ce que nous avons dit au cinquième livre, page 207, n°. 169, une épaisseur moyenne de 16 pouces, qui donnerait pour le poids moyen d'un pied superficiel 180 livres, ce qui donne pour sa stabilité $180 \times 8 = 1440$, c'est-à-dire plus de sept fois celle d'un pan de bois.

Pour qu'un pan de bois hourdé et ravalé en plâtre eût autant de stabilité qu'un mur en moellons de 16 pouces d'épaisseur, il faudrait que son épaisseur fût de 21 pouces $\frac{1}{2}$. Mais, si l'on ne veut pas augmenter son épaisseur, on ne peut lui procurer une stabilité suffisante qu'en le reliant avec les murs mitoyens et avec les planchers par le moyen de tirans ou de harpons de fer.

Lorsqu'un pan de bois doit se raccorder avec d'autres

pans de bois ou cloisons, on peut y pratiquer des guettes ou croix de Saint-André assemblées dans des sablières communes qui les réunissent fortement ensemble.

Quoiqu'un pan de bois de 8 pouces d'épaisseur hourdé plein, et ravalé en plâtre, ait sept fois moins de stabilité qu'un mur en moellons de 16 pouces d'épaisseur, on peut, en supposant ce pan de bois isolé, lui procurer la même stabilité qu'un mur, en l'étayant à ses extrémités par des contrefiches assemblées dans des sablières dont la longueur soit sept fois plus grande que l'épaisseur du pan de bois, c'est-à-dire, de 56 pouces.

Nous finissons cet article en observant que, d'après les prix actuels de Paris, on trouve qu'une toise de mur en moellons de 16 pouces d'épaisseur ravalé des deux côtés et évalué sans usage tout vide rabattu, revient à 39 francs. Tandis qu'une toise de pan de bois de 8 pouces d'épaisseur hourdé et ravalé en plâtre des deux côtés revient à 58 francs.

Un mur en pierre de taille de 16 pouces d'épaisseur, de celle appelée pierre franche qu'on emploie le plus ordinairement pour le rez-de-chaussée des bâtimens à Paris, revient à 168 francs.

Mais comme on ne fait plus ni pans de bois, ni murs de face en moellons qu'à partir du dessus du rez-de-chaussée, il en résulte qu'il y a solidité et économie à préférer un mur en moellons à un pan de bois.

ARTICLE II.

Des planchers.

Les planchers se composent de pièces de bois appelées solives, posées horizontalement à quelque distance les unes des autres, et soutenues à leurs extrémités par des murs, des cloisons, des pans de bois, ou par des pièces de bois plus fortes qu'on nomme poutres.

De leur solidité.

Les expériences ci-devant citées, et la théorie qui en résulte, prouvent que la solidité des planchers de même largeur est en raison doublée de l'épaisseur verticale des solives, et en raison directe de leur largeur, et inverse de leur espacement. Ainsi, à largeur et espacement de solives égales sur même longueur, la force d'un plancher dont les solives auraient 8 pouces d'épaisseur verticale, espacées l'une de l'autre de 8 pouces, serait à celle d'un autre de mêmes dimensions, dont les solives auraient 6 pouces d'épaisseur verticale et espacées l'une de l'autre de 6 pouces, comme le carré de 8 est au carré de 6; comme 64 est à 36; enfin comme 16 est à 9, c'est-à-dire presque double. La quantité de bois produite par les solives de 8 pouces est à celle que donnent les solives de 6 pouces, comme 4 est à 3: ainsi un tiers de bois de plus produit une force double. Enfin, si de deux

planchers garnis de solives de même longueur, et de 6 pouces de grosseur en carré, les solives sont dans l'un éloignées de 9 pouces, tandis que dans l'autre elles ne le sont que de 6 pouces, ce dernier sera une fois et demie plus fort que l'autre.

De la grosseur à donner aux solives.

J'ai trouvé d'après un très-grand nombre d'observations et de recherches, que, pour former un plancher qui ait la solidité convenable, il faut, si les solives sont espacées tant plein que vide, que leur épaisseur verticale soit $\frac{1}{24}$ de leur longueur dans œuvre. Ainsi les solives d'un plancher de 12 pieds de portée entre les murs devraient avoir 6 pouces d'épaisseur verticale, et être espacées de 6 pouces, si elles sont carrées. Ce plancher équivaudrait pour la quantité de bois à un plancher plein de 3 pouces d'épaisseur, c'est-à-dire composé de madriers ou de solives jointives, dont l'épaisseur verticale serait de 3 pouces. La force des bois de même longueur étant comme le carré de leur épaisseur verticale, il en résulte que, si ces deux planchers étaient pleins, la force de celui de 6 pouces serait à celle du plancher de 3 pouces, comme 36 est à 9, ou comme 4 est à 1; mais comme le plancher de 6 pouces est supposé composé de solives qui laissent entre elles un espace vide égal à leur largeur, tandis que celui de 3 pouces est plein, ce rapport devient comme 2 est à 1, c'est-à-dire qu'un plancher plein de trois pouces d'épaisseur n'a que la moitié de la force d'un plancher composé de solives de 6 pouces en carré de grosseur espacées tant plein que vide.

Si l'on voulait avoir un plancher plein qui ait la même force que celui à solives de 6 pouces, il faudrait que son épaisseur fût égale à la racine de la moitié du carré de l'épaisseur de ces solives, espacées tant plein que vide. Ainsi, pour le cas dont il s'agit, le carré de l'épaisseur verticale des solives étant 36, l'épaisseur d'un plancher plein de même force devrait être $= \sqrt{18}$, qui donne $4\frac{1}{4}$ et environ $\frac{1}{32}$ de la largeur dans œuvre du plancher. Ce résultat de la théorie est susceptible de modification, car j'ai éprouvé qu'un plancher formé de madriers de 3 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur assemblés à rainure et languette, porte une charge aussi forte qu'un autre composé de solives de 6 pouces en carré espacées tant plein que vide.

J'ai encore éprouvé qu'un plancher composé de deux rangs de solives de 3 pouces en carré espacées tant plein que vide, et qui se recroisent à angles droits comme on le voit à la figure 3, planche LXXXXIV, a beaucoup plus de fermeté qu'un plancher d'un seul rang de solives de 6 pouces espacées de même, et qui ne sont réunies que par le lattis des aires et des plafonds.

Du bois de sciage.

Les bois de sciage qu'on emploie beaucoup depuis quelque tems pour les solives, sous prétexte d'économie, ne sont pas aussi forts que les bois de brin, c'est-à-dire que si on refend en deux une solive de 8 pouces en bois de brin, les deux moitiés posées de champ porteront moins que la solive entière. Cette différence vient de ce que le bois de brin étant formé de couches circu-

laires concentriques oppose plus de résistance que lorsque ces couches ne forment que des demi-cercles A et B, fig. 4, qui le rendent plus compressible d'un côté que de l'autre, et comme la texture est moins serrée à l'endroit du sciage, le côté est susceptible d'être plus tôt altéré par le plâtre, le mortier, l'humidité ou les intempéries de l'air.

Les solives de bois de sciage dont la largeur est moindre de la moitié de leur épaisseur verticale, n'ont pas assez de stabilité, et sont sujettes à se gauchir et à se tourmenter, surtout lorsqu'elles ne sont entretenues que par des lattis faits pour des aires ou plafonds qu'elles font gercer.

Puisqu'à même longueur et épaisseur verticale de solives, la force des planchers est comme la somme de leur largeur, il en résulte qu'il y a encore plus d'avantage et d'économie à employer des solives de bois de brin, que des solives de sciage.

Cependant on a observé que les solives de sciage, débitées d'après de gros arbres, qui ont acquis le degré de solidité et de consistance dont ils sont susceptibles, sont plus durables que celles qui viennent de petits arbres débités en deux ou en quatre, parce que ces derniers, n'ayant pas encore acquis toute leur consistance, ont moins de force, et contiennent plus d'humeur capable de les corrompre, surtout lorsqu'ils doivent être renfermés dans le mortier ou le plâtre : il en est de même des solives de bois de brin. C'est pour cette raison que l'on est quelquefois obligé de renouveler des planchers modernes au bout de dix à quinze ans, tandis qu'on trouve dans des anciens édifices des bois de sciage bien

équarris à vives arêtes employées en solives et chevrons qui ont plus de quatre à cinq cents ans, et qui sont encore en bon état.

L'expérience relativement aux bois méplats prouve que, dans les bois de sciage comme dans les bois de brin, chaque morceau d'une pièce de bois refendue en deux porte moins de la moitié de ce que porte la pièce entière, de sorte qu'une travée de plancher de 16 pieds dans œuvre composé de douze solives carrées de 8 pouces de grosseur, en bois de sciage ou en bois de brin, posées à 12 pouces de distance les unes des autres, sera plus forte que si elle était formée de 24 solives de 8 pouces sur 4 posées de champ et à 6 pouces de distance, quoique, dans l'un et l'autre cas, il se trouve la même quantité de bois et plus de dépenses pour les solives refendues.

Les solives qui ne sont réunies que par des lattis, des aires et des plafonds, ont moins de force que celles qui sont réunies avec des planches cloucés en travers sur les solives, comme on le pratique dans plusieurs pays.

Des Lambourdes.

Les planchers dont les solives sont assemblées dans des pièces de bois posées le long des murs, désignées sous le nom de lambourdes, fig. 2, planche XCVI, sont préférables à ceux dont les solives ne sont que scellées dans les murs, parce qu'elles sont plus solidement réunies.

La manière la plus solide d'assembler les solives avec les lambourdes est à queue d'aronde avec recouvrement, pour que la solive porte dans toute son épaisseur, comme on le voit représenté par les figures 5 et 6, planche XCIV,

L'épaisseur verticale des lambourdes peut être égale à une fois et demie celle des solives, et leur largeur à une fois. Ainsi, pour un plancher de 14 pieds dans œuvre, dont les solives doivent avoir 7 pouces d'épaisseur verticale, celle des lambourdes serait de 10 pouces $\frac{1}{2}$ sur 7 pouces de largeur. Pour une plus grande solidité, ces lambourdes doivent être encastrées de la moitié de leur largeur dans le mur, et soutenues par des corbeaux de fer scellés dans le mur, à environ six pieds de distance les uns des autres.

Pour tracer les entailles dans les lambourdes, on divisera leur largeur en quatre parties égales, dont on donnera une pour le recouvrement qui doit recevoir la grosseur entière de la solive, deux pour la queue d'aronde, et la quatrième pour former la jouée le long du mur.

Ces lambourdes valent mieux que les linçoirs isolés des murs qu'on leur a substitués, désignés par la lettre M dans les figures 3 et 4 de la planche XCVI, qui ne sont soutenus que par des tenons, de même que les solives qu'ils doivent porter.

Des planchers hourdés pleins.

Lorsque les intervalles entre les solives sont hourdés pleins en maçonnerie, les planchers ont encore plus de consistance et de fermeté; ceux qui prétendent que ce moyen rend les planchers trop lourds, ne font pas attention que cette légère augmentation leur procure une continuité qui leur donne presque autant de solidité que des solives jointives qui doubleraient leur force.

Première espèce de planchers.

Dans la planche XCVI, la figure 1 indique la manière la plus simple de former les planchers avec des solives I, I, scellées dans les murs.

A est un vide pratiqué pour établir une cheminée, formé par deux petites solives B B qu'on nomme chevêtres, et par une grande solive G qu'on appelle solive d'enchevêtrure, parce qu'elle porte les deux chevêtres avec lesquelles elle est assemblée.

Les solives de remplissage D, D, D, assemblées d'un côté dans les chevêtres, et portant de l'autre dans les murs, sont appelées par les charpentiers solives boiteuses.

N indique un vide pour le passage d'un tuyau de cheminée formé par le chevêtre et une petite solive boiteuse E.

La solive G, qui porte les chevêtres, doit avoir un pouce de plus d'épaisseur et de largeur que celles marquées I, I, I, dont nous avons ci-devant indiqué l'épaisseur verticale à la vingt-quatrième partie de leur longueur dans œuvre.

L, L sont les lambourdes dont il a été ci-devant question.

Des Étrésillons.

Lorsque les solives ont beaucoup de portée, et qu'on veut donner plus de fermeté aux planchers, sans les hourder plein, on place selon une même direction des bouts de bois O, O, O, entre les solives qu'on fait entrer de force. Dans un plancher comme celui fig. 1,

la direction la plus convenable à donner à cet étrésillonnement est à la suite des chevêtres.

Des Liernes.

On se sert encore pour cet objet de pièces de bois, appelées liernes, qui portent des entailles pour embrasser les solives. Cette pièce, représentée par P, est arrêtée sur chaque solive avec des chevilles ou des petits boulons.

Autre moyen préférable aux Liernes.

Comme les parties de bois qui séparent les entailles des Liernes peuvent se détacher, il vaudrait mieux, après avoir fait les étrésillonemens O, O, O, poser dessus un madrier Q arrêté avec de bonnes chevillettes, tant sur les étrésillons O, O, O, que sur les solives. Pour bien faire cette opération, il faut soutenir le plancher par-dessous par une sablière et quelques étais qu'on ôte après. L'étrésillonnement a encore l'avantage de contre-bouter les solives dans toute leur épaisseur, au lieu que la lierne ne peut les embrasser que de trois ou quatre pouces au plus, en supposant qu'il ne se trouve pas de flaches aux solives.

Des âtres et bandes de trémie.

Les vides marqués A dans les figures 1, 2, 3 et 4, se remplissent par de petites voûtes bandées en briques ou en moellons, pour former l'âtre des cheminées : les nais-

sances sont faites avec des tasseaux triangulaires cloués à l'intérieur des chevêtres ou solives d'enchevêtrure. A Paris, on se contente d'une maçonnerie en plâtre, soutenue par deux ou trois barres de fer plat et coudées, qu'on appelle bandes de trémie.

Deuxième espèce de plancher avec des poutres.

Les figures 1, 2 et 3 de la planche XCVII, indiquent des planchers avec des poutres, dont on faisait autrefois beaucoup d'usage pour les pièces qui excédaient 18 pieds de largeur. On posait ces poutres à 10 ou 12 pieds de distance les unes des autres. Les espaces entre les poutres, qu'on appelle travées, étaient garnis de solives espacées tant plein que vide, dont l'épaisseur verticale était, comme pour les autres planchers, la vingt-quatrième partie de leur portée ou longueur dans œuvre. Ces poutres et solives, qui étaient apparentes, étaient dressées et replanies comme de la menuiserie, ornées quelquefois de moulures et de sculptures peintes et dorées, comme on le voit dans quelques anciens palais et hôtels.

Planchers à soffites.

On voit en Italie de superbes salles et des églises dont les plafonds sont formés par des planchers composés de poutres combinées avec d'autres, qui ne sont que simulées et formant de très beaux compartimens. Celui de la basilique de Sainte-Marie-Majeure à Rome est un beau modèle en ce genre.

Différentes manières d'assembler les solives avec les poutres.

Dans la figure 1, les solives sont avec des entailles à moitié bois dans les solives et dans la poutre où elles sont arrêtées avec des chevillettes.

Dans la figure 2, les solives sont entaillées de leur épaisseur dans la poutre; et, dans la figure 3, elles portent sur des lambourdes attachées de chaque côté de la poutre avec des étriers de fer.

Le premier moyen nous paraît préférable, parce qu'il réunit le double avantage de soutenir les solives, et de les arrêter solidement aux poutres, comme l'indiquent les figures A et B il faut pour cela une poutre carrée. On divise la largeur du dessus en trois parties égales; les deux le long des bords sont pour les entailles: on les subdivise chacune en trois parties, dont deux pour recevoir la partie entaillée de la solive, et l'autre pour la recevoir dans son entier. La hauteur de la solive sera aussi divisée en trois, dont deux pour l'entaille.

Lorsque le plancher doit être plafonné en dessous, on pose de fausses solives entaillées par les bouts comme celles de dessus, assemblées dans la poutre, ou arrêtées sur des tasseaux cloués contre la poutre. Comme ces fausses solives n'ont que le lattis à porter, il suffit de leur donner la moitié de la grosseur des solives de dessus.

De l'épaisseur des poutres.

L'épaisseur verticale des poutres doit avoir la dix-huitième partie de leur portée ou longueur dans œuvre;

il vaut mieux qu'elles soient carrées que méplates, parce que les cylindres ou cônes ligneux dont elles sont composées, étant moins tranchés, ont plus de force et de roideur.

Des poutres refendues.

On perd cet avantage lorsqu'on forme les poutres de pièces de bois refendues en deux, et quand on place les sciages en dehors, ainsi que le proposent quelques auteurs; les pores des sciages étant plus ouverts, sont plus tôt gâtés par l'effet des plâtres qui les dessèchent et les rendent plus cassans. M. de Buffon, à qui on attribue ce procédé, bien loin d'en être l'auteur, dit, dans son Mémoire sur la force des bois, que *ceux refendus sont plus faibles, et que l'usage en devrait être proscrit;* il fait voir tous les avantages des bois de brin. Son opinion est confirmée par une infinité d'expériences. Ni lui, ni aucun des savans qui se sont occupés de cet objet, n'ont avancé, comme le prétendent beaucoup de gens, que les bois refendus avaient une force double des bois de brin.

De la force des bois méplats.

Ils ont dit que les bois méplats qui ont leur largeur double de leur épaisseur, étant posés de champ, portaient une fois plus que lorsqu'ils étaient posés de plat, parce que leur force, à longueur égale, est en raison composée du carré de leur épaisseur verticale et de leur largeur : par exemple, la force d'une pièce de bois méplate de huit pouces sur seize, posée de champ, est à

la force de la même pièce posée de plat, comme le carré de 16 multiplié par 8 est au carré de 8 multiplié par 16, c'est-à-dire comme 2048 est à 1024; enfin comme 2 est à 1 : mais cette pièce de huit pouces sur seize pouces ne porterait pas la moitié de ce que porterait une pièce de seize pouces en carré.

Des poutres armées.

Lorsque les poutres sont trop faibles pour soutenir la charge des solives, on les fortifie en dessus par des assemblages appelés armatures. Mathurin Jousse, dans son Art de la charpenterie, propose trois manières de faire ces armatures.

La première, représentée par la figure 7, planche XCIV, est composée de deux arbalétriers A et B, qui se réunissent à un petit poinçon C. Ces arbalétriers s'ajustent avec la poutre par des entailles en forme de crans, pour s'arc-bouter avec plus de force et soutenir le milieu par le moyen d'un étrier arrêté au poinçon; on peut lier les arbalétriers avec la poutre par des boulons ou des liens de fer. Ce dernier moyen est préférable: il faut que ces liens soient placés d'équerre à l'arbalétrier et entaillés de leur épaisseur.

La seconde manière est formée de deux arbalétriers plus courts qui se réunissent à une pièce horizontale E, figure 8, avec deux poinçons et deux étriers pour soulager la poutre. Les arbalétriers sont entaillés de leur épaisseur dans la poutre, et liés avec la poutre par le moyen de boulons et liens de fer.

La troisième manière consiste en deux arbalétriers

entaillés dans la poutre de leur épaisseur, et assemblés dans un petit poinçon, comme par la première manière, avec un étrier pour soutenir le milieu de la poutre.

Comme le bois de bout résiste plus que le bois de plat, on pourrait se passer des petits poinçons, qui, en se comprimant davantage, diminuent l'effet des arbalétriers: on les ajusterait de manière à former un joint commun au milieu; et, pour qu'il porte également partout, on placera dans ce joint une plaque de plomb. Pour mieux faire bander cet assemblage, on suspendra la poutre dans le milieu, ou bien on ne la fera poser que sur ce point, ensuite, après avoir serré les liens de fer des extrémités, on fera serrer ceux du milieu pour forcer le joint de se rapprocher et donner à la poutre plus de roide en la faisant courber, ensuite, on remplira avec des morceaux de bois, ajustés exprès, les vides du milieu entre les arbalétriers et la poutre.

De ces trois manières, la première nous paraît préférable et mieux combinée; cependant il faut observer que la force qui unit les fibres du bois étant beaucoup moindre que celle qui peut les faire refouler ou les rompre en les tirant par les deux bouts, les parties qui forment les crans et les talons de la poutre pourraient s'arracher, si l'on n'avait pas la précaution de les serrer avec des liens de fer, et de ne pratiquer les talons qu'à un pied $\frac{1}{2}$ ou deux pieds des bouts.

Pour bien entendre l'effet de ces armatures, il faut considérer que la direction des fibres d'une poutre étant à-peu-près de niveau, l'effort qu'il faut pour la faire courber est beaucoup moins grand que celui qu'il faudrait pour faire baisser des arbalétriers qui forment un angle; car

lorsqu'ils sont bien arrêtés à leurs extrémités, il faut, pour que cet effet puisse avoir lieu, que les fibres se refoulent sur elles-mêmes, leur développement angulaire étant plus grand que la distance horizontale entre les talons.

Nouvelle manière d'armer les solives.

Il en est de même d'une pièce courbe posée sur son fort, et dont les extrémités sont arrêtées pour l'empêcher de se redresser. J'ai éprouvé qu'une pièce de bois posée horizontalement sur deux appuis, chargée d'un bois capable de la faire plier du tiers de son épaisseur, étant arrêtée par une autre pièce de bois pour conserver sa courbure, et retournée pour qu'elle forme un arc, soutient dans cette position un poids plus que double sans fléchir. Cette expérience fournit un moyen fort simple de faire des planchers très-solides avec des solives de peu d'épaisseur, en les formant de solives courbées ajustées avec des solives droites, en sorte qu'elles ne puissent pas se redresser, ainsi qu'on le voit représenté par la figure 10.

Supposons qu'on n'ait, pour faire un plancher de 24 pieds dans œuvre, que des solives de sept pouces de grosseur, tandis qu'il en faudrait de 12 pouces, on taillera le dessus de la première solive A B en courbe pour y appliquer la seconde C D qu'on fera plier par le moyen des liens de fer E, E, placés à trois ou quatre pieds de distance les uns des autres. On donnera à la courbure la moitié de la différence entre l'épaisseur qu'a la solive et celle qu'elle devrait avoir, c'est-à-dire entre sept pouces

et douze pouces, qui donne deux pouces et demi; en sorte que la première solive aura sept pouces au milieu, et quatre pouces et demi aux extrémités; pour rendre le dessus de cet assemblage droit et de niveau, on ajustera aux extrémités de la solive courbée les écoinçons ou fourrures G, H.

Application aux poutres.

On peut par le même procédé former des poutres en réunissant deux de ces assemblages l'un contre l'autre ou en le composant de pièces plus fortes.

Ainsi, pour un plancher de vingt-quatre pieds de largeur dans œuvre, dont les poutres devraient avoir le dix-huitième de cette largeur ou seize pouces, si l'on n'a que des solives de sept pouces, la différence sera de neuf pouces, dont la moitié, quatre pouces et demi, indiquera la courbure que devraient avoir les solives supérieures. Au lieu de tailler la courbe dans les solives inférieures, qui doivent être posées horizontalement, on peut ajuster sur chacune des fourrures taillées en courbe, dont l'épaisseur au milieu sera de quatre pouces et demi, réduite à rien aux extrémités. On posera sur cette espèce de ceintre les doubles solives, qu'on fera plier par la moyen de liens de fer, comme nous l'avons ci-devant expliqué, et on y ajoutera les écoinçons.

La figure 11 indique la coupe par le milieu de cette espèce de poutres.

Poutres sciées en dessus.

La plus grande force qu'il faut pour refouler le bois en le pressant selon la direction de ses fibres, explique un moyen extraordinaire, fig. 12, employé par quelques constructeurs pour donner plus de force aux poutres. Ce moyen consiste à scier la poutre en travers dans son milieu jusqu'au tiers de son épaisseur verticale; on pose ensuite dessous un étai pour soulever un peu la poutre dans son milieu, et on enfonce un coin dans le trait de scie, qui fait relever la poutre de dessus l'étai et lui donne plus de roideur. Ainsi les entailles qu'on fait au-dessus des solives pour les réunir par des liernes, tendent plutôt à les fortifier qu'à les affaiblir, lorsqu'elles sont bien remplies; il en est de même des entailles faites au-dessus des poutres et des lambourdes pour recevoir les solives.

Les expériences faites par M. Parent de l'Académie des sciences, et celles répétées depuis, prouvent que les poutres sciées et garnies de coins, ont environ un sixième de force de plus que celles de même bois et de même dimension qui ne sont pas sciées.

Autres armatures avec des barres de fer.

Comme le fer résiste avec une force beaucoup plus considérable que le bois, on peut substituer aux solives courbées et aux arbalétriers des exemples précédens, des barres de fer solidement arrêtées sur l'espèce de chanteau appliqué sur la solive droite; on prendra pour

hauteur de ceintre la différence de l'épaisseur verticale de la solive qu'on a à sa disposition, avec celle que devrait avoir la solive ou la poutre.

L'épaisseur de la barre de fer ceintrée doit être d'une demi-ligne par pied de longueur sur une largeur double.

Pour les solives, une seule barre posée dans le milieu suffit; on en mettra deux pour les poutres correspondantes au milieu de chaque solive du bas, les liens de fer seront placés de même que dans les armatures en bois; mais comme il faut qu'ils passent sur les barres de fer courbées, elles seront entaillées de leur épaisseur dans le chanteau.

Il est facile de concevoir que, si le segment formé par la barre de fer n'était pas rempli par le chanteau de bois, elle tendrait à plier plutôt qu'à se refouler, et n'aurait pas assez de résistance.

De la moindre épaisseur des pièces chantournées.

La moindre épaisseur de ces poutres ou solives armées au droit des points d'appui, doit être du tiers de leur épaisseur au milieu, pour avoir la force et la fermeté qui convient.

Relativement à cette épaisseur au droit des appuis, la théorie démontre qu'elle doit être égale à la racine du carré de l'épaisseur du milieu, divisée par la moitié de la longueur entre les appuis. Ainsi pour une poutre dont l'épaisseur au milieu serait de seize pouces, celle au droit des appuis devrait être de 5 pouces $\frac{4}{11}$. Plusieurs expériences faites sur des bois chantournés de cette manière, comparés à d'autres parallèles de même lon-

gueur et qui avaient une épaisseur égale à celle du milieu des pièces chantournées, ont porté à peu près le même poids; mais celles terminées par des bois courbés portent un tiers de plus.

Pour former ces armatures, il n'est pas absolument nécessaire que les solives dont elles sont formées aient toute la longueur, elles peuvent être de deux pièces assemblées à trait de Jupiter, et posées de manière que les joints de ces pièces soient en liaison l'une sur l'autre, comme l'indiquent les lettres de la figure 10.

Des traits de Jupiter.

Les figures 1, 2, 3 et 4, planche XCVIII, indiquent la manière de faire les assemblages appelés traits de Jupiter, à cause de la ressemblance du joint avec le signe par lequel on indique quelquefois l'effet du tonnerre.

Le premier, qui est le plus simple, est celui qui convient le mieux pour cet objet : la longueur des parties qui se doublent doit être de quatre fois l'épaisseur des pièces; l'épaisseur du redent qui termine le joint doit être d'un sixième de la largeur ainsi que celui du milieu. La clef qui serre le joint doit être carrée.

L'autre à cinq redents est bon pour les entraits, dont il sera parlé à l'occasion des fermes des combles.

Planchers combinés d'après le procédé indiqué par Serlio.

Serlio, dans son Traité d'Architecture, donne un moyen fort simple pour former des planchers avec des poutres ou des solives trop courtes pour aller d'un mur à l'autre,

en les faisant porter alternativement sur le mur et sur le milieu de chaque pièce, ainsi qu'on le voit représenté par les figures 5 et 6.

Si nous voulions renoncer à notre routine de former tous nos planchers avec des plafonds unis, on pourrait par ce moyen former des compartimens fort agréables pour les appartemens, et d'un bel effet pour les grandes salles. Afin de les rendre plus durables, on pourrait les revêtir de menuiserie au lieu de plâtre, qui détruit les bois en peu de tems.

Les pièces de bois qui forment ces planchers peuvent s'assembler les unes avec les autres à tenons et mortaises, ou par entailles à moitié bois. Il faut remarquer que par le premier moyen, qui est le plus en usage, les pièces ne sont soutenues à leurs extrémités que par des tenons dont la plus grande épaisseur ne peut être que le tiers de celle de la pièce, tandis que par le moyen des entailles à mi-bois, la force se trouve également partagée entre les parties qui portent, et celles qui sont soutenues. Lorsque ces assemblages sont bien ajustés et que les parties qui remplissent les entailles y entrent un peu de force, il en résulte presque autant de solidité que s'il n'y avait pas d'entailles. Si ce sont des solives qui n'en portent qu'une ou deux autres de remplissage, on leur donnera la dix-huitième partie de leur longueur pour leur épaisseur verticale, c'est-à-dire neuf lignes par pied, au lieu de la vingt-quatrième partie, que nous avons ci-devant indiquée, à cause des assemblages.

Si l'on veut que ces assemblages soient à tenons et mortaises, on divisera l'épaisseur verticale du bois en trois parties égales, celle du milieu sera pour le tenon ou la mortaise, figure 7.

Pour les assemblages à entailles, on divisera la largeur du dessus de chaque solive en trois parties égales et son épaisseur verticale en deux; en sorte que les entailles auront pour largeur le tiers de celles des principales solives et pour profondeur la moitié de leur épaisseur, ainsi qu'on le voit par la figure 8.

Ce sera la même chose pour les poutres ou pièces de bois qui soutiendront un plus grand nombre de solives, c'est-à-dire huit à dix, seulement leur grosseur sera proportionnée à ce nombre et à leur portée ou longueur entre les appuis; ainsi au dix-huitième de leur longueur pour l'épaisseur verticale, on ajoutera autant de fois trois lignes qu'elle doit porter de solives de remplissage. Les figures de la planche XCIX indiquent la forme et les détails d'un plancher de cette espèce.

Comme les entailles que nous proposons pour assembler les principales solives ou poutres de ces planchers, ont trop peu de largeur pour être taillées en queue d'aronde, on les arrêtera avec des chevillettes. Mais pour former un ouvrage plus solide, il faudra poser des plates-bandes de fer en dessous en travers des joints, comme elles sont indiquées figure 3; elles seront entaillées de leur épaisseur et arrêtées avec vis à tête fraisée.

Pour faire sentir la bonté de ce moyen, nous ferons remarquer que deux poutres ou solives ajoutées l'une au bout de l'autre sans assemblage, pourraient se soutenir par ce seul procédé: car, si l'on empêche le joint de se désunir par le bas, le haut servira de point d'appui pour lui procurer la fermeté nécessaire.

Les solives de remplissage auront pour leur épaisseur

verticale la vingt-quatrième partie de leur longueur ; elles pourront être assemblées et arrêtées comme nous l'avons ci-devant indiqué page 141.

Autres planchers combinés d'une nouvelle manière.

La planche C représente un plancher carré de 42 pieds dans œuvre, composé de poutrelles disposées diagonalement et formant d'autres carrés de sept pieds $\frac{1}{4}$, garnis de deux rangs de solives qui se croisent et forment ensemble la même épaisseur que les poutres, pour recevoir un plafond en dessous et les carreaux en dessus.

Les poutrelles ont seize pieds et demi de longueur sur douze pouces de largeur et quatorze pouces d'épaisseur verticale ; elles sont assemblées avec des entailles à moitié bois dans le système du plancher précédent, avec des plates-bandes de fer, pour réunir les joints en dessous.

Les solives qui remplissent les intervalles entre les poutres, ont cinq sur sept pouces de grosseur, posées de champ. Celles du haut portent de toute leur épaisseur dans des entailles d'un pouce et demi de profondeur faites dans les poutrelles. Celles du bas qui sont entaillées à mi-bois par les bouts portent sur des entailles de même profondeur faites dans les poutrelles en retour, ainsi qu'on le voit par la figure 2.

Ces solives sont fortement réunies les unes aux autres avec des boulons, en sorte que chaque remplissage forme une espèce de grille d'une seule pièce.

Pour suppléer au tassement dont ce plancher pouvait être susceptible par la compression des bois et le resserrement des assemblages, on lui a donné, en le posant, un bombement d'une ligne par pied : en le soutenant sur des étais placés à mesure sous les assemblages des poutrelles, qu'on faisait roidir avec des coins en dessus, au lieu d'aire sur lattis, il a été garni de planches clouées en travers sur les solives. Le dessous a été latté et plafonné. Pour le carrelage au-dessus, on a étendu un lit de poussière, et les carreaux ont été posés en plâtre. Ce plancher, quoique fort étendu, a presque autant de fermeté qu'une voûte.

Autres planchers d'assemblage, composés de solives qui se soutiennent mutuellement les unes et les autres.

Celui représenté fig. 1, planch. CI, est tiré du Recueil de charpentes de M. Krafft, deuxième partie, page 8, et planche numéro 21. Cette figure indique une manière pratiquée en Hollande pour employer des bois de différentes longueurs. On place autour des murs, des lambourdes sur lesquelles posent ces pièces de bois ; quatre sont placées en travers des angles, posant des deux bouts sur les lambourdes ; d'autres sont parallèles à ces premières ; d'autres, qui recroisent les angles formés par les premières, ne portent que d'un bout sur les lambourdes, et sont assemblées de l'autre dans ces premières à tenons et mortaises. Le surplus des pièces est disposé dans le même genre, et assemblé à tenons et mortaises des deux bouts. Il en résulte des compartimens irréguliers, auxquels on ne fait pas attention, parce que ces

planchers sont recouverts en dessus et en dessous par des planches jointives qui cachent ce défaut. Ces planches, qui ont un pouce et demi d'épaisseur, sont disposées en travers des pièces sur lesquelles elles sont arrêtées, de manière à les réunir fortement les unes avec les autres, et à ne former qu'une seule pièce, ainsi qu'on le voit par la figure 1, où la moitié est recouverte de planches.

Autres planchers sans solives.

La figure 2 indique un plancher exécuté à Amsterdam pour un atelier de décoration. Ce plancher, qui a 60 pieds en carré, est formé de trois rangs de planches de sapin de dix-huit lignes d'épaisseur assemblées à rainures et languettes, posées en travers les unes sur les autres. Il est renfermé dans un cadre formant lambourde le long des murs, et portant à l'interieur une entaille pour recevoir les trois rangs de planches; on a donné au premier rang posé diagonalement, environ une ligne par pied de bombement.

Le second rang posé en sens contraire, est arrêté avec le premier par trois ou quatre rangées de clous.

Le troisième rang qui fait le dessus du plancher, est formé par des planches posées parallèlement à un des murs, et arrêtées de même sur le second rang par des clous disposés selon les planches du dessous.

Cette disposition prouve combien les planches clouées en travers sur les solives peuvent contribuer à la solidité; puisqu'on peut former, par leur moyen, des planchers sans solives, et que, dans celui-ci, un seul rang de plan-

ches en tient lieu. Il est évident que cet avantage ne peut être attribué qu'à la liaison et à la continuité des planches qui le forment.

Planchers à compartimens, fig. 3.

Ce plancher, exécuté dans une maison de plaisance du Stahouder, est composé de poutrelles de chacune sept pieds de long sur neuf pouces de gros, disposées à la manière de Serlio, et formant des renfoncemens de trois pieds en carré. Ces poutrelles sont assemblées à entailles avec coupes, recouvertes en dessus d'un double rang de planches de dix-huit lignes d'épaisseur jointes à rainures et languettes, posées en liaison et clouées sur les poutrelles, et le second en travers des premières et clouées dessus.

En posant le plancher, on lui a donné, comme aux précédens, un bombement d'une ligne par pied de longueur et de largeur dans œuvre. Il est de même assemblé dans un grand cadre formé par les lambourdes posées le long des murs.

La coupe de ce plancher et le détail de l'assemblage des poutrelles sont représentés par les figures 4 et 5.

Les poutrelles sont réunies en-dessus par des plates-bandes de fer entaillées de leur épaisseur; mais il aurait mieux valu qu'elles eussent été posées en-dessous, par les raisons que nous avons ci-devant expliquées page 151, d'autant plus qu'elles sont suffisamment arrêtées en dessus par le double rang de planches qui les recouvrent.

Les planchers en parquets formés par des poutrelles et des solives de remplissage, comme ceux indiqués par

les fig. 4, 5 et 6, planch. CII, ont l'inconvénient de ne pas avoir partout la même fermeté. Les solives qui remplissent les espaces triangulaires ayant des longueurs différentes, il faudrait leur donner des grosseurs proportionnelles, qui exigeraient des réductions plus coûteuses; et, si on leur donnait une grosseur moyenne, elle deviendrait faible pour les grandes, et trop forte pour les petites.

Les quatre pièces en diagonales marquées A soutiennent tout le poids de la partie du plancher qu'elles renferment en huit points dans le milieu de leur portée.

Dans la figure 4, la pièce E, qui est plus longue que les pièces C, C, portent le double, et toute cette charge repond au milieu des pièces B, B.

Dans la figure 5, la charge est mieux distribuée; mais ces dispositions ne valent pas celles où le poids se trouve partagé uniformément sur toutes les pièces.

Le plancher fig. 6, exécuté rue Saint-Denis à Paris, dans une maison de commerce, est fort ingénieux; il offre une régularité qui plaît. Les solives, à partir des pièces diagonales marquées A, A, A, A, se supportent mutuellement par un assemblage à queue d'aronde avec entailles et coupes, représentées en grand, figure 7. Les solives vont en diminuant de grosseur, en raison de leur longueur, jusqu'au milieu, où elles ont un tiers de moins. Dans ce milieu, qui forme un vide circulaire, on a ajusté une clef pendante soutenue par quatre liens cintrés, cet ajustement ne peut être considéré que comme un moyen de donner à ce plancher une apparence plus hardie. Cependant, en examinant cette disposition, on trouve qu'à partir des pièces en diagonale, toute la partie qu'elles renferment ne porte que sur huit assemblages marqués D.

Le milieu de chaque partie est fortifié par des liernes, et le dessus est recouvert de planches jointives cloucés sur les solives, et le dessous est plafonné.

ARTICLE III.

Des combles.

On désigne sous le nom de comble la forme apparente des toits composés de surfaces en pente pour l'écoulement des eaux pluviales. Ces combles, dont la figure est prismatique ou pyramidale, sont ordinairement formés par un assemblage de pièces de bois recouvert en planches, ou par un lattis pour recevoir les tuiles, les ardoises, le plomb, le cuivre ou autres matières en lames qui forment la couverture. Les surfaces apparentes des toits sont quelquefois formées par des voûtes extradossées en pente et recouvertes en dalles de pierre et quelquefois de marbre, comme à l'église de Milan appelée le Dôme.

Il y a eu des édifices où les surfaces des combles étaient formées par des espèces de charpente en bronze, comme celle du portique du Panthéon de Rome du tems de Serlio. De notre tems, plusieurs architectes ont imaginé de faire de ces charpentes en fer.

De la pente des combles.

L'expérience a fait connaître que la pente des combles doit être proportionnée à la température du climat où

ils sont situés; elle doit être plus grande pour les pays froids et humides, que pour les pays chauds. Les anciens Égyptiens, et tous ceux qui ont bâti dans des climats chauds et secs, n'ont terminé leurs édifices que par des plates-formes, ainsi que cela se pratique encore en Afrique et dans quelques endroits de l'Italie. Les habitans du Nord ont fait au contraire des toits fort élevés.

On a observé que dans les pays chauds, il pleut plus rarement que dans les pays tempérés, et que, les pluies étant plus fortes, il faut beaucoup moins de pente aux toits pour faire couler les eaux qui en proviennent. La température fait qu'ils sont presque aussitôt secs, que la pluie a cessé.

Dans les pays tempérés, les pluies sont plus fréquentes et moins fortes, l'air est moins sec, d'où il résulte que les eaux ont plus de difficulté à couler, et que les toits sont plus long-tems à sécher; ce qui nécessite plus de pente.

Dans les pays froids, les pluies étant plus fines, la température de l'air plus humide, et enfin les neiges qui séjournent long-tems sur les toits, exigent plus de pente que dans les pays tempérés.

La pente des combles dépend encore de la manière dont il doivent être couverts. Les tuiles creuses exigent moins de pente que les tuiles plates, parce que les premières sont disposées de manière que l'eau se rassemble dans des rangées de tuiles formant canal, où elle coule avec plus de facilité que les eaux éparses sur les couvertures en tuiles plates ou en ardoises, que le moindre vent contraire fait refluer sous les recouvremens.

On a remarqué que dans les tems humides et, lorsqu'il

tombe des pluies très-fines, le dessous des ardoises des couvertures qui ont peu de pente, est presque aussi mouillé que le dessus, parce que le peu d'eau que produisent ces pluies remonte sous le recouvrement plutôt que de couler, ne pouvant surmonter par son poids son adhérence aux doubles surfaces du recouvrement, qui font l'effet des tuyaux capillaires. Le même inconvénient arrive lorsque les neiges commencent à fondre. Cet effet est plus sensible pour les ardoises que pour les tuiles plates, et plus encore pour les couvertures en vitrage. En général plus les matières dont on se sert pour couvrir sont unies et compactes, plus l'eau est sujette à remonter entre leurs surfaces, et plus il faut donner de recouvrement et de pente aux combles sur lesquels elles doivent être posées.

Les couvertures romaines, composées de tuiles plates et de tuiles creuses, ont besoin de plus de pente que celles toutes en tuiles creuses en usage dans les départemens méridionaux de la France.

Puisque la pente des combles doit être proportionnée à la température des lieux où ils se trouvent, il en résulte qu'elle doit augmenter en même raison que la latitude. Pour parvenir à connaître le point d'où l'on peut partir pour régler cette accroissement, il faut observer que les édifices situés dans l'étendue de la zone torride ayant des terrasses au lieu de combles, on peut ne commencer à donner une pente aux couvertures qu'à partir du tropique. Nous allons faire voir que cette disposition se trouve autorisée par des exemples tirés des édifices antiques et modernes. La latitude d'Athènes étant de 38 degrés 5 minutes, si l'on en soustrait celle du tropique, qui est

de 23 degrés 28 minutes, il restera 14 degrés 37 minutes pour l'inclinaison que devraient avoir les combles des édifices de cette ville.

Il résulte des ruines de la Grèce, mesurées et dessinées sur les lieux par MM. Le Roi, Stuard et Foucherot, que le fronton des Propylées, qui indique la pente du toit de ce monument, a une inclinaison d'environ 14 degrés et demi. Les pentes du fronton du temple de Thésée sont de 14 degrés. Au frontispice du temple de Minerve la pente et de 15 degrés $\frac{1}{2}$; et au temple d'Érechtée, de 15 degrés. La pente des toits des édifices ordinaires pouvait être plus considérable.

Rome étant située à 41 degrés 54 minutes de latitude, si l'on en ôte celle du tropique, on trouvera pour la pente des toits de cette ville 18 degrés 26 minutes, c'est-à-dire une inclinaison égale à celle indiquée par Vitruve par le mot *tertiarium*, qui n'a pas été entendu des traducteurs et des commentateurs. En parlant des toits des Temples Toscans, il dit : *Stillicidium tecti absoluti tertiario respondeat;* c'est-à-dire que la hauteur entière du toit, depuis l'égout, devait être du tiers de la ligne horizontale correspondante à la ligne de pente, ce qui donne précisément 18 dégrés 26 minutes. Il est vrai que cette inclinaison est moindre que celle des frontons des anciens temples de Rome ; car celle du fronton du

portique d'Octavie est de.	23 degrés.
de celui du temple de la Concorde, de. . . .	23 $\frac{1}{2}$.
du temple de Mars le Vengeur, de.	23 $\frac{1}{2}$.
du portique du Panthéon, de.	24
du temple d'Antonin et Faustine, de.	24 $\frac{1}{2}$.
celle du toit de la Basilique de St.-Paul, de. .	23

de la ci-devant Académie de France de. . . . . 23 degrés.
du théâtre d'Argenne de. . . . . 24 $\frac{1}{2}$.

Mais on peut attribuer cette plus grande pente au genre de couverture en usage à Rome. Nous avons déjà observé qu'étant composée de tuiles plates et de tuiles creuses, elle a besoin de plus de pente. Cette observation est d'autant mieux fondée, que dans les départemens méridionaux de la France, qui sont plus avancés vers le nord que l'Italie, la pente des toits est moindre que la distance des tropiques. Ainsi, la ville de Lyon étant située à 45 degrés 45 minutes 51 secondes de latitude, son éloignement du tropique est de 22 degrés 17 minutes 51 secondes, qui exprime la mesure de l'inclinaison que devraient avoir les combles de cette ville; cependant l'usage est de ne donner pour la hauteur d'un comble à deux égouts que la cinquième partie de sa base, ce qui produit une pente de 21 degrés 48 minutes, au lieu de 22 degrés 17 minutes 51 secondes que donne la distance du tropique.

Pour faire usage de cette méthode pour les couvertures en tuiles romaines, il faut ajouter à la distance du tropique du lieu où le comble doit être construit, un sixième de cette distance, un tiers pour les combles couverts en tuiles plates, et un quart pour ceux en ardoises. Par exemple, pour le comble d'un édifice situé à Paris, on soustraira de la latitude de cette ville qui est de 48 degrés 51 minutes, 23 degrés 28 minutes : le reste 25 degrés 23 minutes exprimera en même-tems son éloignemant du tropique, et la mesure de la pente qu'il faudrait donner à ce comble, s'il devait être couvert en tuiles creuses; mais, comme cette pente serait un peu

trop roide pour ce genre de couverture, et que d'ailleurs on ne fait usage à Paris que de tuiles plates ou d'ardoises, il faudra ajouter le tiers de 25 degrés 23 minutes, qui indique la distance du tropique pour cette ville, et on trouvera 33 degrés 49 minutes pour la pente du comble, s'il doit être couvert en tuiles plates; en ajoutant à 52 degrés 22 minutes le quart en sus, on trouvera 31 degrés 42 minutes pour une couverture en ardoises.

Afin de donner une idée générale de l'application de cette règle, nous avons calculé la table suivante, divisée en huit colonnes.

La première contient le nom des principales villes de l'Europe;

La seconde, le nom des pays où elles se trouvent;

La troisième, leur latitude; et les quatre autres, les pentes que devraient avoir les combles, dans les villes indiquées, pour les couvertures en tuiles creuses,
en tuiles romaines,
en tuiles plates,
et en ardoises.

Les pentes indiquées dans cette table sont celles qui conviennent à la température moyenne de chaque ville; ainsi elles peuvent être plus grandes ou moindres, en raison de l'exposition et de la température des lieux où se trouvent les édifices. Ceux situés au nord, ou dans des endroits marécageux, exigent plus de pente que ceux exposés au midi et dans les endroits secs et bien aérés. Cette différence peut varier de 2 ou 3 degrés en plus ou en moins.

Ces tables, qui peuvent paraître inutiles à de certaines personnes, ne sont faites que pour ceux

Des pentes et à la manière dont ils sont couverts.

(Tom. iv, pag. 162.)

NOMS DES VILLES.	PAYS.	NOMS DES VILLES.	PAYS.	LATITUDE	COUVERTURES En tuiles creuses.	En tuiles romaines.	En tuiles plates.	En ardoises.
Aix	France		France	47.45	24.17	28.20	32.23	30.21
Amiens	*Idem*		*Idem*	47.54	24.26	28.30	32.34	30.32
Amsterdam	Hollande		Sicile	38.10	14.42	17.09	19.36	18.22
Angers	France		France	43.08	19.40	22.56	26.13	24.35
Antibes	*Idem*		*Idem*	48.50	25.22	29.35	33.49	31.42
Anvers	Belgique		*Idem*	43.15	19.47	23.05	26.23	24.44
Arles	France	x	*Idem*	45.11	21.43	25.20	28.58	27.08
Arras	*Idem*		*Idem*	49.55	26.27	30.51	35.15	33.04
Avignon	*Idem*	n	*Idem*	42.41	19.13	22.25	25.37	24.01
Autun	*Idem*	urg	Russie	59.56	36.28	42.32	48.37	45.35
Auxerre	*Idem*		France	43.26	19.58	23.17	26 37	24.57
Bâle	Suisse		Italie	45.05	21.37	25.13	28.49	27.01
Bar-le-Duc	France		France	46.35	23.07	26.58	30.49	28.54
Barcelonne	Espagne		Bohême	50.06	26.38	31.04	35.31	33.17
Bayeux	France	ientin	France	49.51	20.23	30.47	35.11	32.59
Bayonne	*Idem*	-Corentin	*Idem*	47.58	24.30	28.35	32.40	30.37
Beauvais	*Idem*	ne	Allemagne	48.56	25.28	29.42	33.57	31.50
Berghen	Norwège		France	49.14	25.46	30.03	34.21	32.12
Berlin	Prusse		*Idem*	48.07	24.39	28.42	32.46	30.49
Besançon	France		*Idem*	49.35	26.07	30.28	34.49	32.39
Beziers	*Idem*	t	*Idem*	46.02	23.34	27.29	31.25	29.27
Blois	*Idem*		Italie	41.54	18.26	21.30	24.35	23.02
Bologne	Italie		France	49.26	25.58	30.17	34.37	32.27
Bordeaux	France		*Idem*	45.44	22.16	25.58	29.40	27.50
Bourges	*Idem*		*Idem*	46.58	23.30	27.13	31.06	29.22
Breslaw	Silésie		*Idem*	48.11	24.43	28.50	32.57	30.54
Brest	France	m	Suède	59.20	35.52	41.50	47.49	44.50
Briançon	*Idem*	rg	France	48.34	25.06	29.17	33.28	31.22
Bruxelles	Belgique		Espagne	39.50	16.22	19.05	21.49	20.27
Cadix	Espagne		France	48.40	25.11	29.24	33.36	31.30
Caen	France		*Idem*	43.07	19.39	22.55	26.12	24.34
Calais	*Idem*		*Idem*	47.23	23.55	27.54	31.53	29.54
Carthagène	Espagne		Allemagne	45.46	26.18	30.41	35.04	32.52
Chartres	France		France	48.18	24.50	28.58	33.07	31.02
Colmar	*Idem*		Piémont	44.51	21.23	24.57	28.31	26.44
Cologne	Allemagne	nnes	France	50.21	26.53	31.22	35.51	33.36
Constantinople	Turquie		*Idem*	49.09	25.41	29.58	34.15	32.06
Copenhague	Danemarck	c	Pologne	52.14	28.46	33.33	38.21	35.57
Contances	France		Italie	45.25	21.57	25.36	29.16	27.26
Cracovie	Pologne		Autriche	48.12	24.44	28.51	32.59	30.55
Dantzick	*Idem*		France	45.32	22.04	25.44	29.25	27.35
Dieppe	France		Suisse	47.28	24.00	28.00	32.00	30.00
Dijon	*Idem*							

TABLE

Des pentes qu'il convient de donner aux combles des édifices des principales villes de l'Europe, relativement à leur latitude et à la manière dont ils sont couverts.

(Tom. IV, pag. 162.)

NOMS DES VILLES	PAYS.	LATITUDE	COUVERTURES En tuiles creuses.	En tuiles romaines.	En tuiles plates.	En ardoises.
Aix	France	43.31	20.03	23.23	26.44	25.04
Amiens	*Idem.*	49.53	26.23	30.49	35.13	33.01
Amsterdam	Hollande	52.23	28.55	33.44	38.33	36.09
Angers	France	47.28	24.00	28.00	32.00	30.00
Antibes	*Idem.*	43.35	20.07	23.28	26.49	25.08
Anvers	Belgique	51.13	27.45	32.22	36.59	34.01
Arles	France	43.40	20.12	23.34	26.56	25.15
Arras	*Idem.*	50.17	26.49	31.17	35.45	33.31
Avignon	*Idem.*	43.57	20.29	23.54	27.19	25.36
Autun	*Idem.*	46.57	23.29	27.24	31.19	29.51
Auxerre	*Idem.*	47.48	24.20	28.23	32.27	30.25
Bâle	Suisse	47.55	24.27	28.31	32.35	30.33
Bar-le-Duc	France	48.35	25.07	29.18	33.36	31.24
Barcelonne	Espagne	41.26	17.58	20.57	23.56	21.27
Bayeux	France	49.16	25.48	30.06	34.24	32.15
Bayonne	*Idem.*	43.29	20.01	23.21	26.41	25.01
Beauvais	*Idem.*	49.26	25.58	30.17	34.36	31.87
Berghen	Norwège	60.11	36.43	42.50	48.57	45.54
Berlin	Prusse	52.32	29.03	33.53	38.43	36.19
Besançon	France	47.13	23.45	27.42	31.39	29.41
Beziers	*Idem*	43.20	19.52	23.10	26.29	24.50
Blois	*Idem*	47.35	24.07	28.08	32.09	30.09
Bologne	Italie	44.29	21.01	24.31	28.01	26.16
Bordeaux	France	44.50	21.22	24.55	28.29	26.42
Bourges	*Idem.*	47.05	23.37	27.33	31.29	29.31
Breslaw	Silésie	51.03	27.35	32.11	36.47	34.29
Brest	France	48.23	24.55	29.04	33.13	31.09
Briançon	*Idem.*	44.46	21.18	24.19	27.30	26.25
Bruxelles	Belgique	50.51	27.23	31.59	36.35	34.18
Cadix	Espagne	36.31	13.03	15.13	17.23	16.19
Caen	France	49.11	25.43	30.00	34.17	32.09
Calais	*Idem.*	50.57	27.29	32.04	36.39	34.21
Cartbagène	Espagne	37.36	14.08	16.30	18.52	17.40
Chartres	France	48.26	24.58	29.07	33.16	31.12
Colmar	*Idem.*	48.04	24.36	28.42	32.48	30.45
Cologne	Allemagne	50.55	17.27	32.01	36.35	34.19
Constantinople	Turquie	41.00	27.42	20.39	23.36	22.07
Copenhague	Danemarck	55.40	32.12	37.34	42.56	40.15
Coutances	France	49.02	25.34	29.49	34.04	31.57
Cracovie	Pologne	50.10	26.42	31.09	35.36	33.22
Dantzick	*Idem.*	54.22	30.54	36.03	41.12	38.57
Dieppe	France	49.55	26.27	30.51	34.76	33.04
Dijon	*Idem.*	47.19	23.51	27.46	31.48	29.46
Dresde	Allemagne	51.12	27.44	32.21	36.58	34.40
Dunkerque	France	51.02	27.34	32.09	36.45	34.27
Édimbourg	Écosse	55.58	32.30	37.55	43.20	40.37
Embrun	France	44.34	21.06	24.37	28.08	26.22
Évreux	*Idem.*	49.01	25.33	29.48	34.04	31.56
Florence	Italie	41.46	18.18	21.21	24.24	22.52
Francfort-sur-le-Mein	Allemagne	50.06	26.38	31.04	35.31	33.17
Francfort-sur-l'Oder	*Idem.*	52.20	28.52	33.40	38.29	36.05
Fréjus	France	43.26	19.58	23.17	26.37	24.58
Gênes	Italie	44.25	29.57	24.26	27.56	26.11
Genève	Suisse	46.12	22.44	26.31	30.19	28.25
Grenoble	France	45.11	21.43	25.20	28.57	27.09
Havre-de-Grâce	*Idem.*	49.29	26.01	30.21	34.41	32.31
Hambourg	Allemagne	53.43	30.15	35.17	40.20	37.19
La Haye	Hollande	52.04	28.36	33.22	38.08	35.45
Langres	France	47.52	24.24	28.28	32.32	30.30
Lille	*Idem.*	50.37	27.09	31.40	36.12	33.56
Limoges	*Idem.*	45.49	22.21	26.04	29.48	27.56
Lisbonne	Portugal	38.42	15.14	17.46	20.19	19.02
Lisieux	France	49.11	25.43	29.00	33.17	32.09
Londres	Angleterre	51.31	28.03	32.43	37.24	35.04
Lunéville	France	48.35	25.07	29.19	33.26	31.21
Lyon	*Idem.*	45.45	22.17	26.00	29.43	27.51
Macon	*Idem.*	46.20	22.52	26.41	30.30	28.35
Madrid	Espagne	40.25	16.57	19.46	22.36	21.11
Manheim	Allemagne	49.25	25.57	30.16	34.36	32.26
Marseille	France	43.18	19.50	23.08	26.37	24.47
Mayence	Allemagne	49.54	26.26	30.50	35.15	33.02
Metz	France	49.07	25.39	29.55	34.12	32.04
Milan	Italie	45.25	21.57	25.36	29.16	27.26
Modène	*Idem.*	44.34	21.06	24.37	28.08	26.22
Montpellier	France	43.36	20.08	23.29	26.51	25.10
Moskow	Russie	55.45	32.17	37.40	43.03	40.21
Moulins	France	46.34	23.06	26.57	30.48	28.52
Munich	Allemagne	48.02	24.34	28.39	32.45	30.42
Nancy	France	48.41	25.13	29.25	33.37	31.31
Nantes	*Idem.*	47.13	23.45	27.42	31.40	29.41
Naples	Italie	40.50	17.22	20.15	23.09	21.42
Narbonne	France	43.11	19.43	23.00	26.17	24.39
Nimes	*Idem.*	43.50	20.22	23.45	27.09	25.27
Nuremberg	Allemagne	49.26	25.58	30.17	34.37	32.27
Olmutz	Moravie	49.30	26.02	30.22	34.43	32.32
Orange	France	44.09	20.41	24.08	27.35	25.51
Lorient	France	47.45	24.17	28.20	32.23	30.21
Orléans	*Idem.*	47.54	24.26	28.30	32.34	30.32
Palerme	Sicile	38.10	14.42	17.09	19.36	18.22
Pamiers	France	43.08	19.40	22.56	26.13	24.35
Paris	*Idem.*	48.50	25.22	29.35	33.49	31.42
Pau	*Idem.*	43.15	19.47	23.05	26.23	24.44
Périgueux	*Idem.*	45.11	21.43	25.20	28.58	27.08
Péronne	*Idem.*	49.55	26.27	30.51	35.15	33.04
Perpignan	*Idem.*	42.41	19.13	22.25	25.37	24.01
Pétersbourg	Russie	59.56	36.28	42.32	48.37	45.35
Pézénas	France	43.26	19.58	23.17	26.37	24.57
Plaisance	Italie	45.05	21.37	25.13	28.49	27.01
Poitiers	France	46.35	23.07	26.58	30.49	28.54
Pragues	Bohême	50.06	26.38	31.04	35.31	33.17
Saint-Quentin	France	49.51	20.23	30.47	35.11	32.59
Quimper-Corentin	*Idem.*	47.58	24.30	28.35	32.40	30.37
Ratisbonne	Allemagne	48.56	25.28	29.42	33.57	31.50
Reims	France	49.14	25.46	30.03	34.21	32.12
Rennes	*Idem.*	48.07	24.39	28.42	32.46	30.49
Rethel	*Idem.*	49.55	26.07	30.28	34.49	32.39
Rochefort	*Idem.*	46.02	23.34	27.29	31.25	29.27
Rome	Italie	41.54	18.26	21.30	24.35	23.02
Rouen	France	49.26	25.58	30.17	34.37	32.27
Saintes	*Idem.*	45.44	22.16	25.58	29.40	27.50
Salins	*Idem.*	46.58	23.30	27.13	31.06	29.22
Sens	*Idem.*	48.11	24.43	28.50	32.57	30.54
Stockholm	Suède	59.20	35.52	41.50	47.49	44.50
Strasbourg	France	48.34	25.06	29.17	33.28	31.22
Tolède	Espagne	39.50	16.22	19.05	21.49	20.27
Toul	France	48.40	25.11	29.24	33.36	31.30
Toulon	*Idem.*	43.07	19.39	22.55	26.12	24.34
Tours	*Idem.*	47.23	23.55	27.54	31.53	29.54
Trèves	Allemagne	45.46	26.18	30.41	35.04	32.52
Troyes	France	48.18	24.50	28.58	33.07	31.02
Turin	Piémont	44.51	21.03	24.57	28.31	26.44
Valenciennes	France	50.21	26.53	31.22	35.51	33.36
Verdun	*Idem.*	49.09	25.41	29.58	34.15	32.06
Warsovie	Pologne	52.14	28.46	33.33	38.21	35.57
Venise	Italie	45.25	21.57	25.36	29.16	27.26
Vienne	Autriche	48.12	24.44	28.51	32.59	30.55
Vienne	France	45.32	22.04	25.44	29.25	27.35
Zurich	Suisse	47.28	24.00	28.00	32.00	30.00

qui aiment à se rendre compte de tout ce qu'ils font, et à mettre la précision qui convient dans toutes leurs opérations.

Le genre d'architecture gothique imaginé par les peuples du nord, introduisit, dans tous les pays où ils s'établirent, l'usage des toits élevés et des frontons aigus qui les représentent. L'élévation d'un comble à deux égouts fut d'abord égale à toute sa largeur, ce qui formait pour chaque côté une inclinaison de 63 degrés 27 minutes, qui ne pourrait convenir qu'aux pays voisins du cercle polaire. Les combles les moins élevés étaient formés par un triangle équilatéral, qui réduisait les pentes à soixante degrés.

Pour profiter de ces immenses combles, on imagina de les percer de lucarnes, qui devinrent pour les palais, les châteaux et grands bâtimens d'habitation, un objet de décoration particulière.

Dans la suite, lorsqu'on voulut diminuer la hauteur de ces combles, au lieu de changer les pentes, on s'avisa de les tronquer, et de former la partie supérieure, qu'on couvrait en plomb, avec très-peu de pente. Enfin, on attribue à François Mansard l'invention des combles qui présentent quatre pentes dans leur profil, pour les maisons particulières; ils furent appelés combles à la Mansard ou mansardes.

Première méthode pour tracer les combles à la Mansard.
Planche CIII, fig. 3.

Pour faire le profil de ces combles, on traçait d'abord un triangle équilatéral A B C, dont on prenait la moitié

pour former les pentes inférieures A D, E B; on donnait aux parties supérieures D F, F E, le quart de leur largeur ou $\frac{1}{8}$ de la hauteur du triangle équilatéral, en sorte que la hauteur entière F G était les $\frac{5}{8}$ de celle du triangle équilatéral.

Seconde méthode. Figure 4.

On fixe la hauteur des parties inférieures à la moitié de la largeur du bâtiment prise en dehors de murs, et on leur donne pour pente le tiers de la demi-largeur ou de la hauteur. Pour les parties supérieures, qu'on appelle faux comble, on leur donne pour hauteur, comme dans la méthode précédente, le quart de sa largeur ou la moitié de D E. Par cette méthode, la partie inférieure a plus de roideur que par la précédente.

Troisième méthode. Figure 6.

On décrit un demi-cercle dont le diamètre A B est égal à la largeur de l'édifice prise en dehors, et, après l'avoir divisé en quatre parties égales, on tire les lignes A D et E B, qui indiquent la pente des parties inférieures, et C D, C E, pour celles du faux comble. Cette méthode donne encore plus de roideur aux parties inférieures et moins de pente pour les parties supérieures, qui dans les autres n'en ont pas assez.

Quatrième méthode. Figure 7.

Pour obvier à cet inconvénient, M. Bélidor propose de diviser le demi-cercle en cinq parties égales, dont

il prend trois pour les parties supérieures ; mais cette disposition ne leur donne encore que 27 degrés de pente , ce qui est insuffisant pour les climats de France.

En considérant cette espèce de comble , on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'il présente une contradiction choquante ; car , si la pente des parties supérieures suffit , pourquoi en donner autant aux parties inférieures ?

Cinquième méthode. Figure 5.

Bullet , dans son Traité d'architecture pratique, propose, pour le climat de Paris , de faire les combles d'équerre , c'est-à-dire que l'angle au sommet soit un angle droit, ce qui donne 45 degrés pour les pentes. Par cette disposition , la hauteur d'un comble à deux égouts est égale à la moitié de la largeur de sa base.

Cette méthode donne une pente moyenne entre celle des anciens et des nouveaux combles.

A Paris , la plupart des architectes ne donnent à la hauteur des combles à deux égouts que le tiers de la largeur de la base , ce qui produit des pentes de 33 degrés 41 minutes , au lieu de 33 degrés 49 minutes que donne la règle que nous avons proposée.

De la formation des combles.

Nous avons déjà dit que les combles sont ordinairement composés d'une ou de plusieurs surfaces inclinées pour faciliter l'écoulement des eaux de pluies et de neige , et mettre les édifices à l'abri des intempéries

de l'air. Nous avons ajouté que, pour les combles en charpente, ces surfaces se forment avec des chevrons qu'on espace à Paris de quatre à la latte, c'est-à-dire de 16 pouces de milieu en milieu. Ces chevrons sont recouverts de planches ou de lattes pour recevoir les tuiles creuses ou plates, les ardoises ou les lames de plomb, de cuivre ou autre matière, dont on fait usage pour la couverture.

Les combles les plus simples sont ceux compris entre des murs de pignon, terminés en pointe et formant des pentes selon le profil du comble.

Pour soutenir les chevrons dans leur portée, lorsque les pentes ont trop de longueur, on place en travers des pièces de bois plus fortes, appelées *pannes*, scellées dans les murs de pignon.

Dans les combles à deux pentes, formant un angle au sommet, on place, pour former cet angle et soutenir le haut des chevrons, une pièce de bois F, qu'on appelle *faîtage*, figure 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Dans les combles brisés à la Mansard, les pièces de bois D qui se trouvent au droit de ses brisures, sont appelées *pannes de brisis*.

Dans les combles qui ont beaucoup de pente par le bas, les chevrons portent sur une plate-forme dans laquelle ils sont entaillés; et pour rejeter les eaux au-delà de l'entablement, on ajoute des bouts de chevrons, appelés *coyaux*, qui forment un adoucissement de pente, comme on le voit indiqué par la lettre *c*, dans les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Lorsque les murs formant pignons sont placés à de trop grandes distances, on place dans l'intervalle des

assemblages de charpente appelés fermes, afin de soutenir les pannes et les faîtages dans leur portée. Souvent même les combles ne sont soutenus que par des fermes au lieu de mur de pignon; mais une ferme de charpente, de quelque manière qu'elle soit combinée, ne peut jamais avoir la stabilité et la fermeté d'un pignon en maçonnerie.

Des fermes pour les combles surbaissés. Fig. 1, planche CIV.

Lorsque les fermes de charpente n'ont pas beaucoup de portée, elles peuvent être faites avec trois pièces de bois seulement, dont deux inclinées *a*, *a*, sont appelées *arbalétriers*, et la troisième horizontale *b*, qu'on appelle *entrait*, dans laquelle les deux autres sont assemblées de manière à former un triangle isocèle. On trouve en Italie beaucoup de fermes de cette manière.

Les arbalétriers de ces fermes sont assemblés par le bas dans les bouts de l'entrait, par des entailles en cremaillère, et retenus par des liens de fer placés perpendiculairement à la pente des arbalétriers qui les fixent d'une manière invariable, ainsi qu'on le voit par la figure 4, n°. 5.

Par le haut, ces arbalétriers, qui se réunissent pour former la pointe du comble, se raccordent par un joint à plomb; ils sont fixés par une espèce de clef entaillée dans les deux pièces, et chevillée comme le représente la figure 8. Quelquefois ils ne sont réunis que par des entailles à mi-bois arrêtées avec deux chevilles, figure 9.

Lorsque ces fermes ont une certaine grandeur, on les fortifie à l'intérieur par une armature composée de trois pièces, dont deux doublent les arbalétriers jusqu'aux deux tiers environ, et une autre en forme d'entrait pour les contre-buter, ainsi qu'on le voit par la figure 2.

La figure 3 représente une des fermes du comble de l'église de Sainte-Sabine à Rome. Les arbalétriers sont assemblés par le haut dans une pièce verticale à laquelle on donne le nom de *poinçon;* elle est fortifiée à l'intérieur par une armature composée de deux pièces qui doublent les arbalétriers jusqu'aux deux tiers, contre-butées par d'autres pièces inclinées en sens contraire, assemblées dans les poinçons, qu'on appelle *contre-fiches*. Le milieu de l'entrait est soutenu par un étrier de fer arrêté au poinçon : les extrémités de cet entrait sont fortifiées à l'endroit de leur portée par des espèces d'encorbellemens en bois, qui doublent les bouts de l'entrait; ces pièces sont réunies aux arbalétriers et à l'entrait par des liens de fer inclinés. Cette ferme offre la combinaison la mieux entendue pour les combles dont l'élévation est au-dessous du quart.

Les fig. 4, 5 et 6 représentent trois fermes différentes du comble de la basilique de Saint-Paul à Rome. Celles fig. 4 et 5 sont doubles, éloignées les unes des autres de 10 pieds 1 pouce; elles sont composées de deux fermes semblables, posées à quatorze pouces de distance l'une de l'autre; entre ces fermes se trouve suspendue une aiguille pendante *n*, qui tient lieu de poinçon, et qui sert à soutenir le milieu de l'entrait pour l'empêcher de plier, au moyen d'une simple clef de bois *o*, placée au-dessous des entraits, et qui passe dans un trou carré percé dans le bout de

cette aiguille. Cette pièce est suspendue par le haut, au moyen d'un boulon de fer placé au milieu du joint des deux arbalétriers, et d'une autre clef de bois 2, qui passe au travers de l'aiguille, au-dessus du faux entrait *g*. Cette ferme est une des plus anciennes de la charpente de sapin qui forme le comble de cette église ; c'est une de celles faites en 816, sous le pontificat de Léon III.

Les entraits, qui sont d'une seule pièce, ont 73 pieds 6 pouces de longueur entre les murs ; leur grosseur est de 21 pouces sur 14 pouces, leur distance est aussi de 14 pouces. Les arbalétriers ont 15 pouces sur 14 pouces de grosseur, les pièces qui les doublent en-dessus ont 10 pouces $\frac{1}{2}$ en carré; elles sont réunies par le haut avec l'arbalétrier par des boulons. Le faux entrait a 11 pouces sur 10 pouces $\frac{1}{2}$, l'aiguille pendante 12 pouces sur 8 pouces depuis le dessus du faux entrait; plus haut, elle a 10 pouces sur 12, et la tête entre le sommet des fermes a 12 pouces en carré à l'endroit où passe le boulon de fer.

Les pannes sont soutenues sur des tasseaux *m*, profilés des deux bouts, formant entretoises pour lier les deux fermes, comme on le voit figure 4 bis. Le faîtage est composé de deux pièces de bois de 10 à 12 pouces de gros, et les pannes ont 8 pouces; elles sont espacées de 5 pieds 4 pouces; les chevrons, qui ont 5 pouces sur 4, ne sont éloignés l'un de l'autre que de 8 pouces. Ces chevrons sont recouverts par de grandes briques d'environ un pied sur sept pouces, qui portent sur ces chevrons, et forment une espèce de carrelage avec mortier dans les joints. Sur ce carrelage est établie la couverture, formée de tuiles plates avec rebords, dont

les joints sont recouverts par des tuiles creuses renversées.

On peut juger par cette description du poids de cette espèce de couverture, et de la force de la charpente qui la soutient.

La ferme représentée par la figure 5 est moins ancienne, elle est aussi un peu plus compliquée que la précédente. Les arbalétriers sont assemblés par le haut dans des bouts de poinçons *i*, entre lesquels passe une aiguille pendante *n*, où elle est arrêtée par une forte clef de bois marquée *e*. Cette aiguille sert, comme dans la ferme précédente, à soutenir le milieu des entraits par une autre clef de bois. Ces entraits sont en deux pièces assemblées à trait de Jupiter, avec double clef et trois liens de fer; ils sont encore soutenus par des étriers de fer arrêtés à deux faux poinçons marqués *o*, suspendus à la réunion des pièces qui doublent les arbalétriers avec les faux entraits. Le surplus est comme dans la ferme précédente. Les arbalétriers *a*, *a*, sont plus gros, ils ont 20 pouces $\frac{1}{2}$ sur 14. Les faux arbalétriers ont 13 pouces sur 12 $\frac{1}{2}$; le faux entrait a 14 pouces sur 12.

Cette seconde ferme est beaucoup plus forte que la précédente : d'abord, parce que les arbalétriers ont plus de grosseur; ensuite, parce qu'ils sont assemblés dans des poinçons, et que l'aiguille pendante est beaucoup mieux suspendue par ces poinçons que par la seule jonction des arbalétriers; quant aux autres poinçons marqués *o*, ils ne sont pas assez solidement retenus pour qu'ils puissent être d'une grande utilité.

La troisième ferme indiquée par la figure 6 est une des plus nouvelles, c'est une de celles de la partie du

comble au-dessus du sanctuaire, renouvelées sous le pontificat de Sixte-Quint. Quoique cette ferme soit soutenue dans le milieu par un mur de plus de 4 pieds ½ d'épaisseur, elle est beaucoup plus compliquée que les précédentes: les entraits n'ont que 35 pieds 9 pouces de portée ; les pièces au-dessus forment deux petites fermes séparées; elles soutiennent les arbalétriers de la grande jusqu'à la moitié environ de leur longueur; le surplus est doublé par de faux arbalétriers qui s'assemblent, ainsi que les vrais, dans le grand poinçon du milieu, fortifiés par des liens.

Ces fermes ne sont pas doubles comme les précédentes. Les entraits ont 17 pouces sur 14, les arbalétriers ont 14 pouces en carré, les poinçons 13 pouces et demi sur 11 pouces, les liens 6 pouces et demi sur 4 pouces et demi; les pannes 8 pouces et les chevrons 4 pouces et demi. Ces fermes sont éloignées l'une de l'autre d'environ 9 pieds un quart, les pannes et les chevrons sont espacés comme dans les autres fermes, et la couverture est la même.

Les bois de toutes ces fermes sont équarris à vives arêtes, et les assemblages ne consistent que dans des coupes et des entailles; leur ensemble présente un air de propreté et de régularité qu'on ne trouve pas dans nos charpentes, où l'on n'emploie que des bois grossièrement équarris, et remplis de flaches, de courbure et d'irrégularité. Les assemblages à tenons et mortaises dont nous faisons usage affaiblissent plus les bois que les coupes et les entailles. D'ailleurs on ne peut s'empêcher de faire remarquer que cette dernière ferme, comparée aux deux autres, est beaucoup trop compliquée.

Fermes pour les combles surhaussés.

La figure première de la planche CIII, représente les fermes du comble d'un édifice gothique, dont la largeur dans œuvre est de 27 pieds; les grandes, appelées maîtresses fermes, ont par le bas un grand entrait *b*, d'une seule pièce, qui forme toute la largeur du bâtiment en y comprenant l'épaisseur des murs, et un poinçon *i* au-dessus du faux entrait *g*, dans lequel s'assemblent les pièces formant le faîtage *f*, entretenus et reliés par des liens.

Les faux entraits, les esselliers ou liens, *e*, *e*, qui les soutiennent en dessous, ainsi que les jambettes *j*, sont communs aux maîtresses fermes et aux fermes intermédiaires appelées fermes de *remplage* ou chevrons portant fermes; ces pièces ont seulement un pouce de plus de grosseur dans les maîtresses fermes que dans les fermes intermédiaires.

Les fermes ordinaires n'ont pas de poinçons par le haut, et au lieu d'entrait, elles ont pour base de petites pièces, *d*, appelées blochets, dans lesquelles sont assemblés les bouts des chevrons et des jambettes.

Les blochets sont posés sur un double-rang de plates-formes réunies par des entretoises de six pieds en six pieds, et formant ensemble l'épaisseur du mur.

Les fermes intermédiaires sont espacées de 2 pieds de milieu en milieu, et les maîtresses fermes de 10 pieds, en sorte qu'il se trouve quatre fermes intermédiaires entre. Les pièces qui composent les fermes intermédiaires, ont 5 pouces de gros, et celles des maîtresses fermes 6

pouces; la grosseur du grand entrait est de 8 pouces sur 9 pouces; les sablières ont 4 pouces sur 6 pouces de grosseur.

La hauteur entière de ce comble, depuis le dessous du grand entrait, est égale à la longueur de cet entrait. Les faux entraits sont placés aux $\frac{5}{9}$ de cette hauteur à partir du bas. Les bouts supérieurs des liens ou esselliers avançent jusqu'au quart de la longueur du faux entrait, le bas de ces liens répond au tiers de la longueur du chevron avec lequel ils s'assemblent. Les jambettes du bas sont d'aplomb, et se prolongent jusqu'à la rencontre du même chevron.

Cette combinaison, qui forme partout des triangles, est la plus propre à maintenir les assemblages, parce que toutes les pièces sont mutuellement entretenues par d'autres, qui agissent dans le sens de leur longueur, dans lequel elles ne sont susceptibles ni de rallongement ni de diminution sensibles par les variations du chaud, du froid, du sec et de l'humide. Pour m'en assurer, j'ai fait coucher sur l'appui de la balustrade des murs extérieurs du Panthéon Français, des pièces de bois de chêne et de sapin de 36 à 40 pieds de longueur. J'ai trouvé que la différence entre la longueur de ces bois secs ou mouillés, ne variait pour le bois de chêne que d'environ une ligne un quart, et pour le bois de sapin de moins de trois quarts de ligne, quoique ce dernier varie plus en grosseur. Pour dix degrés de différence dans la température, le bois de chêne sur cette longueur ne varie pas d'une ligne, et de moins de demi-ligne pour le bois de sapin.

La figure 2 représente une des fermes des combles

le plus en usage à Paris, depuis le quinzième jusqu'à la fin du dix-septième siècle. Les arbalétriers *a*, *a*, forment avec l'entrait *b* un triangle équilatéral. Cette ferme est garnie à l'intérieur d'un poinçon *i*, dans lequel sont assemblés les arbalétriers par le haut avec deux contre-fiches *h*, *h*, et d'un faux entrait *g*, fortifié en-dessous par deux esselliers *e*, *e*.

Sur les arbalétriers sont attachés des tasseaux *t*, avec des chantignoles, pour soutenir les pannes indiquées par *p*.

Les chevrons sont assemblés par le bas dans une plate-forme, et arrêtés sur les pannes et le faîtage.

Cette composition présente une combinaison qui paraît plus solide que la précédente; mais elle est plus compliquée, et elle exige une plus grande quantité de pièces de bois plus grosses, qui produisent une plus grande dépense. Pour une largeur de comble de vingt-quatre à trente pieds de largeur, on donne ordinairement à l'entrait, lorsqu'il porte plancher, le dix-huitième de la largeur dans œuvre, comme pour les poutres, et pour ceux qui ne portent pas plancher $\frac{1}{24}$,

Aux arbalétriers. . . . . $\frac{1}{15}$,

Aux faux entraits. . . . . $\frac{1}{24}$,

Aux poinçons. . . . . $\frac{1}{12}$,

Aux liens. . . . . $\frac{1}{24}$,

Aux pannes. . . . . $\frac{1}{12}$ de l'intervalle entre les fermes.

Quelquefois pour pratiquer un étage en partie dans le bas du comble, on posait le principal entrait trois ou quatre pieds plus bas que l'entablement. Sur ce premier entrait portant plancher, on établissait de faux arbalétriers ou jambes de force, qu'on tenait plus roides que

la pente du toit, afin de dégager l'intérieur; on choisissait pour cela des bois courbes, comme on le voit à la figure 8, indiquée par *f*. Ces jambes de force portaient un second entrait, dans lequel elles étaient assemblées avec des liens. Le surplus du comble est comme dans la fig. 2. On éclairait ces étages par des fenêtres en forme de lucarnes, qui coupaient l'entablement, et se terminaient par des frontons.

La ferme représentée par la figure 5 est celle que Bullet propose pour les combles de Paris. Comme elle est un peu garnie en bois, on peut supprimer les deux contre-fiches *h*, *h*, qui buttent le poinçon; il est déjà assez consolidé par le faux entrait, et il n'est pas assez long pour avoir besoin de ce secours.

Dans plusieurs combles modernes, au lieu de faire porter les pannes sur des tasseaux, on les assemble à tenons dans les arbalétriers, de manière qu'elles effleurent le dessus des arbalétriers; il y en a qui posent les chevrons dessus à l'ordinaire : on peut assembler ces chevrons dans les pannes, en sorte qu'il ne s'en trouve pas sur les arbalétriers dont le dessus sert de chevron. Cette disposition rend les combles beaucoup moins lourds, et emploie moins de bois, mais elle ne peut convenir que pour ceux dont la largeur n'excède pas trente pieds; pour les autres, il vaut mieux suivre la méthode ordinaire.

Dans les combles brisés, comme ceux représentés par les figures 3, 4, 6 et 7, pour ne pas charger inutilement le faux entrait, il faut éviter d'y faire porter les jambettes *j*, lorsqu'on ne peut pas les assembler en contre-fiche dans le poinçon, comme dans les fig. 2 et 5. Les pannes de brisis D s'assemblent à tenons à l'extrémité

du faux entrait. Les autres pannes sont disposées et soutenues comme dans les fermes ordinaires.

De la disposition des pièces de bois qui composent les fermes.

Il faut remarquer que, de quelque manière que les combles soient couverts, en ardoises, en tuiles et même en plomb, ils ne doivent pas avoir besoin de plus de force qu'un plancher de même superficie de base, parce que la charge que portent les combles est distribuée uniformément dans toute leur superficie, tandis que celle des planchers est souvent inégale, et qu'ils éprouvent quelquefois des chocs et des ébranlemens auxquels les combles ne sont jamais exposés. Si les bois des combles n'étaient pas sujets à se tourmenter à cause des variations de la température de l'air, il suffirait souvent de trois pièces de bois pour former une ferme solide.

Les courbures et les ondulations qu'on remarque dans certains toits, viennent plutôt de la qualité des bois mis en œuvre, que de leurs dimensions ou combinaisons.

On trouve en Italie et dans les départemens méridionaux de la France des combles en bois de sapin beaucoup plus légers et moins compliqués que les nôtres, qui se maintiennent droits et en bon état, quoiqu'ils soient chargés de couvertures une fois plus pesantes. Le bois de chêne étant plus lourd que le sapin, ayant ses fibres moins droites, est plus sujet à se tourmenter que le sapin, qui ne varie que de grosseur, et qui est moins sujet à se tordre.

Les fermes des combles peuvent être considérées

comme les principales poutres des planchers ; les pannes comme les solives d'enchevêtrure, et les chevrons comme les solives de remplissage.

Nous avons fait voir en parlant des poutres, que lorsqu'elles sont trop faibles, on peut les fortifier par des espèces d'arbalétriers auxquels ces poutres servent de base. Il est évident que, plus ces arbalétriers sont élevés au-dessus des poutres, plus ils ont de force pour les soutenir; d'où il résulte qu'une ferme de charpente composée d'un entrait et de deux arbalétriers, a beaucoup plus de force pour soutenir les parties qui y répondent, qu'une poutre. Cependant, lorsque les arbalétriers n'ont pas une grosseur proportionnée à leur portée, la charge des pannes peut les faire fléchir dans le milieu. Dans ce cas, le moyen le plus simple pour empêcher cet effet, est de les contre-buter par une pièce de bois horizontale *g*, figure 2, planche CIV, appelée faux entrait. Dans les fermes qui ont un poinçon, on peut soutenir le milieu des arbalétriers par le moyen de deux contre-fiches *h*, figure 3, assemblées dans le poinçon.

Nous allons d'abord examiner quelle doit être la position de ces contre-fiches et dans quel cas il faut préférer les faux entraits.

La position la plus avantageuse d'une pièce de bois, qui doit en soutenir une autre horizontale ou inclinée, pour l'empêcher de fléchir, est d'être perpendiculaire à sa direction, au point où elle se trouve chargée : d'où il résulte que les contre-fiches qui s'assemblent dans le poinçon des fermes, devraient être préférées aux faux entraits ; cependant comme la pesanteur agit toujours selon une direction verticale, il en résulte que celle des

contre-fiches, quoique perpendiculaire aux arbalétriers qu'elles soutiennent, se trouve oblique à la verticale, en sorte qu'elles agissent avec un effort mixte qui transporte une partie de l'effort des pannes sur le poinçon; d'autre part, si l'on fait attention que les arbalétriers ne peuvent fléchir sans qu'il se fasse un rapprochement du côté du poinçon, on verra qu'une pièce horizontale, telle qu'un faux entrait, peut empêcher ce rapprochement sans charger le poinçon. Ce dernier moyen est celui qui convient le mieux pour les combles surbaissés qui ont beaucoup de largeur et une grande charge à porter, tels que ceux couverts en tuiles romaines ou en tuiles creuses. Il a été employé avec succès pour les fermes de la charpente du comble de la basilique de Saint-Paul hors les murs à Rome, figures 4 et 5, dont nous avons ci-devant expliqué les détails.

La disposition la plus convenable pour ce genre de ferme, est de placer le faux entrait *g* aux deux tiers de la hauteur du poinçon, en doublant la partie inférieure des arbalétriers par des pièces qui s'assemblent avec les grands entraits, comme on le voit à la figure 4.

Pour les fermes des combles très-surhaussés, on pourrait placer deux faux entraits qui divisent leur hauteur en trois. Lorsque ces entraits sont d'une grandeur considérable, on peut les soutenir dans leur portée par des liens, comme on le voit dans la figure 1 de la planche CV.

Les fermes des combles, qui forment un angle droit au sommet, peuvent être maintenues par un

seul faux entrait, posé à la moitié de leur hauteur, figure 2.

Lorsqu'on veut faire usage de contre-fiches, pour empêcher qu'elles ne chargent le poinçon, il faut qu'elles forment, à leur réunion par le bas, un angle égal à celui que forment les arbalétriers par le haut, c'est-à-dire que chacune soit parallèle à l'arbalétrier qui est de l'autre côté du poinçon. Car, si l'on considère les parties D C et E C, figures 3, 4 et 5, comme deux puissances qui agissent de bas en haut, le résultat de leur effort vertical sera exprimé par le double de C G, tandis que l'effort des puissances D F, E F, qui agissent de haut en bas, donnent pour résultat le double G F. Or, comme dans ce cas G C est égal à G F, il en résulte que la force des arbalétriers réunis, se trouve détruite par l'effort des contre-fiches qui chargent le poinçon, tandis qu'un faux entrait placé de D en E, laisse subsister cette force toute entière.

Lorsque l'angle formé par un comble est un angle droit, les contre-fiches F D, F E, figure 4, sont perpendiculaires aux arbalétriers, et ont, par conséquent, la direction la plus avantageuse. Dans les combles surhaussés ou surbaissés, figures 3 et 5, la direction des contre-fiches, en devenant oblique, fait qu'elles agissent avec moins d'avantage. Si, pour avoir plus de force, on cherche à donner aux contre-fiches moins d'obliquité, leur effort vertical qui charge le poinçon devient plus grand dans les combles surbaissés que celui des arbalétriers, et moins grand dans les combles surhaussés ; d'où il résulte que les contre-fiches ont moins d'inconvéniens pour les combles surhaussés. Lorsqu'on veut en

faire usage pour ces espèces de combles, il faut leur donner une direction moyenne, qu'on trouvera en tirant une verticale et une horizontale du point D, où la contre-fiche doit rencontrer l'arbalétrier, et divisant l'angle G D I en deux par une ligne D H, qui donnera la direction moyenne.

La figure 6 représente une des fermes du comble de la salle de spectacle de la ville de Lyon, exécutée sur les dessins de Germain Soufflot.

On voit qu'on a voulu détruire dans cette ferme l'effort des contre-fiches A B, C D, qui tendent à charger le poinçon, en leur opposant des pièces G H inclinées en sens contraire, qui tendent à le soulever avec une force à peu près égale à l'effort des contre-fiches. Ces pièces sont arrêtées par le bas par des moises pendantes K, suspendues aux grands arbalétriers E, et contre-butées par un faux arbalétrier C L, et par deux contre-fiches C D et H F.

Cette ferme, qui a moins du quart de sa base en élévation, et qui porte une couverture d'un tiers plus pesante que celles en tuiles plates, est assez bien combinée pour ne pas charger l'entrait M N, le poinçon et les moises pendantes étant isolés au-dessus.

Cependant il aurait mieux valu que les faux arbalétriers C L n'eussent pas été isolés des vrais arbalétriers. Si l'on compare cette ferme à celles des basiliques de Saint-Paul hors les murs, et de Sainte-Sabine, on trouvera qu'elle aurait pu être moins compliquée.

Nous avons appliqué à ces fermes, la règle ci-devant indiquée pour la direction des contre-fiches. On voit par les lignes d'opérations tracées sur les figures 3 et 6 de

la planche CIV, et par celles tracées sur cette dernière, qu'elles ne s'en éloignent pas beaucoup.

Les deux fermes de charpente de la planche CVI, sont celles des combles de la nouvelle église de Sainte-Geneviève ou Panthéon français. Comme ces fermes ne pouvaient pas avoir d'entrait par le bas à cause des voûtes, et qu'il fallait cependant empêcher tout effort à l'extérieur, afin d'arrêter, plutôt que d'augmenter la poussée de ces voûtes. On a suppléé ces entraits par des moises C, C, dont les unes relient le pied des poteaux B, B, sur lesquels ces fermes sont établies avec les poinçons A, A, et les autres servent d'entrait pour empêcher l'écartement des arbalétriers, comme à la ferme, figure 1, qui est une de celles du comble au-dessus du portail, dont la portée est de 58 pieds 4 pouces. Ces arbalétriers qui supportent chacun trois rangs de pannes, sont soutenus dans leur portée par des pièces de bois L, L, qui les doublent et qui sont butées, d'une part par des contre-fiches F, F, assemblées dans le poinçon A, et de l'autre par des jambes de force E, E.

Il faut remarquer que les directions de ces pièces de bois étant prolongées, se rencontrent au point G, déterminé par une verticale tirée du point N, également éloigné des points I et K, où ces directions rencontrent le dessous de l'arbalétrier, en sorte qu'ils se combinent le plus avantageusement possible pour soutenir avec la doublure L, l'espace compris entre I et K.

La partie de la ferme, figure 2 qui est une de celles des combles au-dessus des nefs, ayant sa partie du milieu garnie d'un entrait, n'a eu besoin que des moises

C, C, pour retenir les pieds des poteaux B, B, qui la soutiennent, afin d'éviter l'écartement par le bas de ces poteaux, et des demi-fermes qui portent sur les murs extérieurs.

Il n'y a de particulier dans ces fermes que les ajustemens des moises, représentés par les figures 3 et 4, qui en font voir les principales parties vues par-dessus.

Ces fermes sont très-bien exécutées, en bois de chêne choisi, de la meilleure qualité, refaits et équarris sur toutes les faces, avec des bossages et des élégissemens. Toutes les parties des moises sont réunies par des entailles et des boulons à têtes carrées, avec vis et écroux.

Ces charpentes, qui sont exécutées depuis environ trente ans, sont en aussi bon état que si elles venaient d'être achevées.

Les fermes dont il vient d'être question, n'offrent pas plus de difficultés pour leur exécution, que les planchers et les pans de bois détaillés dans les deux articles précédens parce qu'on ne les a considérés que comme faisant partie d'un comble à base rectangulaire, soutenu par des fermes égales, perpendiculaires aux murs des faces sur la longueur.

La formation des surfaces en pente de toutes sortes de combles par des chevrons soutenus par des pannes, ne présente pas de plus grandes difficultés; lorsque ces surfaces sont droites, il ne s'agit pour opérer que de les étendre sur un plan de niveau.

Principes du trait de charpente.

Les principes pour opérer en charpente sont les mêmes que ceux pour la coupe des pierres, que nous avons expliqués dans la première section du quatrième livre. Nous allons rappeler ici les plus essentiels pour en faire l'application à l'Art du trait de la charpente.

On appelle épure dans la coupe des pierres et *étélon* dans la charpente, la projection en grand sur une surface droite, verticale ou horizontale, d'un ouvrage qu'il s'agit d'exécuter.

La projection d'un objet quelconque sur un plan ou surface droite, se fait par le moyen des lignes qui terminent leur contour, et de celles qui indiquent les arêtes et les angles formés par la réunion de leurs surfaces apparentes, ou par des lignes qui forment des compartimens ou des divisions de joints, lorsque ces objets sont composés de plusieurs pièces réunies.

La position de ces lignes est déterminée par des parallèles perpendiculaires au plan de projection, abaissées des principaux points de l'objet à représenter.

Si c'est une ligne droite, il suffit pour déterminer sa position, des deux points qui forment ses extrémités.

Si c'est une ligne courbe, il faut, indépendamment des points des extrémités, plusieurs autres points intermédiaires.

Les solides forment par la réunion de leurs surfaces, trois sortes d'angles :

1°. Des angles plans, par la rencontre des arêtes qui terminent chaque surface.

2°. Des angles solides formés par la réunion de plusieurs angles plans, dont les côtés se réunissent en un point. Il est à propos de remarquer qu'il faut au moins trois angles plans pour former un angle solide.

Dans les solides qui se terminent en pointe comme les pyramides, l'angle solide qui forme le sommet, est composé d'autant d'angles plans qu'ils ont de faces.

3°. L'angle des plans est celui formé par deux surfaces, qui se réunissent pour former une arête. Il est mesuré par deux perpendiculaires menées d'un même point de cette arête, sur chacune des faces qui forment cet angle.

Il résulte de ce qui vient d'être dit, qu'un seul point peut indiquer dans une projection la position d'une des extrémités de toutes les lignes qui y aboutissent, soit pour former des angles solides, soit pour des compartimens ou des combinaisons de joints sur une même surface composée de plusieurs pièces.

Les lignes ou surfaces représentées dans une projection, y sont exprimées ou dans toute leur étendue ou en raccourci.

Il n'y a que les lignes ou les surfaces parallèles au plan de projection, qui soient dans le premier cas, toutes les autres éprouvent un raccourcissement plus ou moins grand, qui dépend du degré de leur inclinaison à ce plan.

Il est à propos de remarquer qu'on peut tracer sur un plan, des lignes droites ou courbes dans tous les sens; d'où il résulte que des lignes qui ne sont pas parallèles entre elles, peuvent cependant l'être au plan de projection, et en conséquence ne pas changer de grandeur.

L'inclinaison d'une ligne par rapport au plan de projection, se mesure par la différence des perpendiculaires tirées de ses extrémités sur ce plan, ce qui donne dans tous les cas un triangle rectangle A C B, figure 1, planche CVII, dont un des côtés A C, exprime la différence des perpendiculaires tirées des extrémités de la ligne originale A B, et l'autre C B ou son égale D E, sa longueur en raccourci sur le plan de projection.

Il faut encore remarquer que la projection d'un objet change en raison de la position du plan sur lequel elle est faite. Cette position pourrait varier à l'infini; mais dans la pratique des arts, elle se réduit ordinairement à des plans horizontaux et verticaux auxquels on rapporte tous les points des objets à représenter.

La position horizontale étant unique, ne produit qu'une seule projection, qu'on désigne sous le nom de plan géométral. Mais comme un plan peut changer de position sans cesser d'être vertical, il en résulte différentes projections désignées par les noms d'élévations, de coupes et de profils.

Il peut y avoir autant d'élévations que l'objet a de faces.

Les coupes et les profils sont des sections perpendiculaires aux faces; elles expriment les parties intérieures et les épaisseurs avec leurs contours. C'est au moyen de ces projections, des développemens et de la mesure des angles, qu'on vient à bout de tracer et d'exécuter avec précision toutes les pièces qui doivent composer un ouvrage quelconque de pierre de taille, de charpente ou de menuiserie. On appelle développement la projection particulière des faces d'un objet qui ne peu-

vent être représentées qu'en raccourci dans sa projection verticale ou horizontale, telles que les pentes B A, B D du toit, dont le profil est représenté par les fig. 2 et 4.

Pour faire ce développement, on suppose que ces pentes se sont relevées, en tournant sur le point B, pour former la surface horizontale *a* B *d*, égale au profil A B D, figure 4. Dans les toits, l'inclinaison des pentes étant ordinairement selon la largeur, tandis que la longueur est de niveau, toutes les lignes dans le sens de la longueur, ainsi que leur division, ne changent pas de grandeur dans la projection horizontale, figure 3; d'où il résulte que, si après avoir abaissé des points *a* B *d*, figure 4, des parallèles indéfinies, on prolonge les lignes E F, G H de la figure 3, la surface des pentes développées sera représentée par *e f g h* de la fig. 5.

On aura la division des chevrons I, I, I, en prolongeant de même sur la figure 5 les lignes qui les indiquent dans la figure 3.

Des combles à deux pentes dont la largeur est inégale.

Lorsque la largeur d'un comble est inégale, si l'on veut lui conserver une même hauteur, chaque ferme doit avoir une pente différente, d'où il résulte des surfaces gauches. On pourrait éviter ce gauche en donnant à chaque ferme une même pente; mais alors la hauteur du toit deviendrait inégale, en sorte que si la base du comble était de niveau, le faîtage serait en pente, ce qui produirait un effet plus désagréable que celui des surfaces gauches, parce qu'il serait plus apparent.

On peut encore éviter le gauche des surfaces et conserver une même hauteur aux combles à deux pentes, dont la largeur est inégale, figure 6, en prenant le petit pignon, figure 7, pour ferme principale, et tirant du milieu E de la ligne A B, qui le représente sur le plan, des parallèles aux grandes faces A C, B D. Ces lignes E H, E G, indiqueront la position des doubles faîtages posés à même hauteur, auxquels doivent se terminer les pentes le long de ces faces pour former des surfaces droites et sans gauche.

La partie triangulaire E H G formera ou une plate-forme couverte en plomb, ou une noue renfoncée qui se raccordera avec le double pignon dont la face est représentée en plan, par la ligne C D, et en élévation par C K M L D, figure 8. Mais ce moyen produit un comble fort compliqué, qui devient très-coûteux et sujet à de plus grands inconvéniens que les combles gauches, surtout si l'on fait une noue renfoncée où les neiges séjournent très-long-tems dans les pays froids.

Formation d'un comble à deux pentes sur un plan dont la largeur est inégale, et dont le faîtage et la base doivent être de niveau.

Après avoir tracé le trapèze A B C D, figure 1, planche CVIII, qui forme le plan de ce comble, on fera passer par le milieu des côtés A B, C D, qui doivent former pignon, une ligne droite E I, qui indiquera la projection de l'arête du faîtage. La hauteur de ce faîtage devant être partout la même, tandis que la largeur varie, il doit en résulter des pentes diffé-

rentes pour chaque point de la longueur des surfaces gauches.

Si l'on voulait répartir le gauche de ces surfaces sur chacune des pièces de charpente qui doivent composer le comble, il en résulterait un travail considérable qui ne procurerait pas plus de solidité; c'est pourquoi on peut se borner à la surface supérieure des chevrons et des pannes. Il suffirait même de former dans ces dernières de légères entailles aux endroits où les chevrons doivent porter, ce qui aurait l'avantage de les fixer d'une manière plus solide.

Nous avons déjà parlé des surfaces gauches au troisième livre, page 35, à l'occasion des lits des pierres; on peut les considérer comme étant formées de lignes droites qui ne sont pas dans un même plan, c'est-à-dire qu'en bornoyant une des arêtes, celles opposées paraissent s'élever ou s'abaisser au lieu de se confondre comme dans une surface plane.

Si l'on applique sur une surface gauche dont la forme est rectangulaire, une règle parallèlement à un de ses côtés, on la trouvera droite; mais si on l'applique obliquement, on trouvera cette surface concave ou convexe, tandis qu'une surface qui n'est pas gauche, est toujours droite de quelque manière qu'on y applique une règle.

Il faut remarquer qu'une surface triangulaire terminée par des lignes droites ne peut jamais être gauche, parce que chacune de ces lignes se réunissant à deux autres qui aboutissent à un même point, elles se trouvent nécessairement toutes les trois dans un même plan.

Lorsque la forme d'une surface gauche est un quadrilatère irrégulier, on trouvera la direction des lignes

droites dont elle peut être formée en prolongeant les deux arêtes opposées qui tendent à se rapprocher, telles que B D, A C, fig. 2, jusqu'à ce qu'elles se rencontrent en un point F. Toutes les lignes tirées de ce point au côté D C, qui forment la base du triangle, seront des lignes droites. Lorsque le point de concours est trop éloigné, on tire du point B une parallèle à D C; et après avoir divisé ces deux lignes en parties égales, on tirera des points correspondans des lignes droites, sur lesquelles si l'on applique l'arête d'une règle, elle touchera la surface dans toute sa longueur.

Lorsque la surface d'un comble a assez de gauche pour qu'il puisse être sensible dans la largeur d'un chevron, on trouve ce gauche en traçant le chevron en plan, figure 3, et de son extrémité la plus courte *a*, on tirera une ligne d'équerre *a b*, qui indiquera la mesure du biais. Ayant ensuite placé le chevron suivant, la pente répondant à la plus grande longueur, on portera sur la ligne de niveau *c d*, figure 4, qui doit lui servir de base, la mesure *f b* du biais, de *d* en *e*; ensuite, avec une règle ou un cordeau, on tracera du haut du chevron la ligne *g e*, qui indiquera le démaigrissement à faire pour lui donner en dessus le gauche qui lui convient.

Pour trouver le gauche d'une des pannes, on tracera le dessus des arbalétriers des fermes sur lesquelles elles doivent porter, avec le dessous des chevrons qui doivent y correspondre; ayant ensuite choisi un des bouts de la panne pour porter carrément sur un des arbalétriers, on tracera sur l'autre bout la différence occasionnée par le gauche de la pente, comme on le voit

à la figure 5; *a b c d* indique le bout qui porte carrément sur un des arbalétriers, et *e f d c* celui qui porte sur l'autre; *b d* est la pente du dessus du premier arbalétrier, et *f d* celle du second.

L'usage n'étant pas de dresser et d'équarrir les pièces de bois de charpente comme dans la menuiserie, pour tracer leur assemblage avec plus de précision et de facilité, on les met l'une sur l'autre, dans la position où elles doivent être en place; pour opérer on se sert d'un plomb et d'un cordeau blanchi que les ouvriers appellent *ligne*; comme on tend le cordeau et qu'on le soulève dans le milieu pour le faire battre et tracer les lignes, les ouvriers désignent cette opération par l'expression de battre la ligne.

Observations sur les anciens combles.

Il est à propos d'observer que dans le Traité de l'art de la charpenterie par Mathurin Jousse, presque tous les combles dont parle cet auteur, ne sont composés que de chevrons portant ferme, sans pannes.

Si l'on compare les combles disposés de cette manière qui existent encore, avec ceux garnis des pannes et des fermes isolées qu'on a imaginés depuis, on trouvera dans les premiers une disposition qui plaît par la répétition régulière et symétrique des jambettes, des esseliers et des entraits assemblés dans chaque chevron, surtout lorsque les combles ont une certaine longueur, comme ceux de plusieurs églises. Quelquefois, en cintrant les jambettes et les esseliers, on formait sous le faux entrait une espèce de voûte en berçeau circu-

laire ou elliptique, comme on le voit indiqué par la figure 6.

Il ne faut pas croire que les combles à pannes qu'on leur a substitués soient plus solides, parce qu'ils présentent de plus grosses pièces de bois; il n'en résulte que plus de dépense, et un effet désagréable par le trop grand éloignement des fermes, et leur assemblage plus compliqué qui ne s'accorde pas avec les parties intermédiaires.

Des combles pyramidaux ou à plusieurs pentes.

Lorsqu'au lieu de pignon, les deux extrémités d'un comble sont terminées par des pentes qui se raccordent avec celles des autres côtés, il en résulte une pyramide régulière; si la base est formée par un carré ou par un polygone dont les côtés soient égaux. Cette pyramide sera composée d'autant de triangles que le polygone aura de côtés. On donne à cette espèce de comble le nom de pavillon; les pentes triangulaires forment à leur réunion des arêtes qu'on soutient par des pièces de bois appelées arêtiers, dont le dessus sert à soutenir les chevrons des deux pentes qui se rencontrent.

La figure 7 représente la projection en plan d'un pavillon carré, où l'on a marqué les pièces dont il doit être composé.

Les arêtiers sont indiqués par la lettre *a*.

b indique les quatre principaux chevrons qui s'assemblent, ainsi que les arêtiers, dans le poinçon C.

Les autres chevrons désignés par la lettre *d*, qui

s'assemblent dans les arêtiers, sont appelés empanons.

e indique les pannes qui paraissent entre les chevrons; *f* et *g* sont les sablières dans lesquelles sont entaillés les pieds des chevrons.

Si l'on forme les arêtiers de ce comble avec deux fermes qui se croisent au poinçon, son exécution ne présentera pas plus de difficulté que les combles ordinaires. Les entraits peuvent être faits avec des plates-formes de 4 à 5 pouces d'épaisseur, entaillées à mi-bois à l'endroit où elles se croisent.

Si ce sont les arbalétriers de ces fermes qui servent d'arêtiers, on trouvera l'angle que doit former l'arête, après avoir dressé la pièce par-dessus, en traçant avec un cordeau une ligne dans le milieu de sa largeur; l'ayant posée ensuite selon sa pente déterminée par une ligne de base, sur laquelle on portera le reculement C H de l'arêtier, figure 8, on tirera sur le plan la ligne *i k*, figure 9, et on prendra la distance C *h*, qu'on portera sur la ligne de base tracée sur la pièce de C en *n*. Enfin du point *n* on tracera sur la pièce avec un cordeau la ligne *o n*, parallèlement à la ligne d'arête. Cette ligne indiquera le délardement de la pièce pour former l'arêtier en abattant le bois depuis la ligne *o n*, jusqu'à celle qui indique l'arête du milieu.

Ces arêtiers s'assembleront par le haut dans le poinçon, et par le bas dans la sablière, comme les arbalétriers ordinaires, avec des tenons et des mortaises.

Pour les tracer, on posera le poinçon sur le bout supérieur de l'arêtier, selon la position qu'il doit avoir comme C D, figure 10, et après avoir tracé sur l'arbalé-

trier la ligne de jonction *l m*, on lui menera une parallèle à environ trois pouces pour la longueur du tenon; ayant ensuite coupé le surplus, on tracera sur le bout l'épaisseur du tenon auquel on donnera le quart de la largeur de la pièce ; mais comme ce tenon deviendrait trop aigu par le haut, on en coupera le bout carrément selon la ligne *l p*, à la naissance du tenon.

Pour tracer les mortaises, il faudra d'abord dresser la partie des faces du poinçon dans lesquelles elles doivent être creusées, et après avoir marqué la hauteur du dessus du tenon et son dessous, on tracera deux lignes qui indiqueront sa largeur correspondante au tenon. Le haut sera creusé carrément et le bas en pente selon l'inclinaison de l'arêtier ; cet assemblage sera fixé par des chevilles de fer qui passeront au travers des mortaises et des tenons. Le bas de l'arêtier s'assemblera de la même manière avec la plate-forme servant d'entrait, et se tracera de même ; il est représenté par la fig. 11.

La surface triangulaire comprise entre deux arêtiers est appelée croupe ; elle est formée par des chevrons de différentes longueurs : celui du milieu qui est le plus long, s'assemble par le haut dans le poinçon, et par le bas dans une plate-forme ; on le désigne sous le nom de chevron de croupe ou de ferme.

Les autres chevrons appelés empanons, s'assemblent par le haut dans les arêtiers, et par le bas dans la même plate-forme que le chevron de croupe. Comme toutes ces pièces, à cause de leur inclinaison, ne peuvent être représentées qu'en raccourci sur un plan horizontal, on les trace sur chaque partie de surface developpée en

prenant toutes les largeurs qui ne changent pas sur le plan horizontal, et les longueurs sur le profil. Ainsi, pour une croupe triangulaire, telle que *a b c*, figure 7, après avoir tiré une ligne égale à *a b*, figure 12, qui ne change pas, avec toutes ses divisions, on prendra la longueur du milieu sur le profil qu'on portera de *d* en *c*, et on tirera les droites, *c a*, *c b*, qui exprimeront la forme et l'étendue exacte de la surface du triangle de croupe, en raison de sa pente. Lorsque le triangle est isocèle, la hauteur *c d*, perpendiculaire à la base *a b*, tombe au milieu de cette base; mais si le triangle est scalène, c'est-à-dire si les lignes qui forment le milieu des arêtiers sont inégales, cette perpendiculaire divisera la base en deux parties inégales; et, comme cette base ne change pas, le point *d* se trouve le même dans la projection en plan et dans le développement. Pour avoir les longueurs de ces chevrons, on les tracera sur le développement comme ils le sont sur la croupe triangulaire, représentée en raccourci sur le plan ou ételon composé de deux demi-arêtiers, du chevron de croupe et des empanons.

Il faut remarquer que cette extension, appelée *herse* par les charpentiers, donne les longueurs justes sans rien changer aux dimensions de largeur.

Il y a plusieurs manières de poser les chevrons pour former la pente ou la croupe d'un comble : par le bas on les entaille ordinairement dans une sablière ou plate-forme, et par le haut on se contente quelquefois de les faire poser sur le faîtage ou sur les arêtiers, et on les arrête avec des chevilles de bois ou de fer après les avoir coupés d'onglet, suivant l'angle qu'ils doivent former à leur réunion, soit en plan, soit en élévation.

Il y a des charpentiers qui les assemblent à tenons et mortaises dans les arêtiers, et ceux opposés qui posent sur le faîtage à moitié bois, ou en faisant un tenon au bout de l'un, et une entaille fourchue au bout de l'autre pour recevoir le tenon, comme on le voit par les figures 13 et 14.

D'autres charpentiers assemblent les empanons dans les arêtiers, et les chevrons dans le faîtage, par le moyen d'entailles à mi-bois fixées par des chevilles de bois ou de fer; figure 15. Cette méthode est celle qui me paraît la plus convenable, par le double avantage qu'elle procure de lier les pièces de bois les unes avec les autres, d'une manière fort simple et très-solide.

Pour le premier cas, où les chevrons sont simplement posés sur le faîtage et les empanons sur les arêtiers, leurs extrémités supérieures doivent être coupées de manière que leur réunion forme un joint d'aplomb. Pour tracer cette coupe, il faut, après avoir indiqué le chevron ou l'empanon sur le profil, tirer la perpendiculaire *d f* du point où il pose sur l'arête du faîtage ou de l'arêtier, et porter *f h* au-dessus. On peut encore placer le chevron ou l'empanon sur le profil, afin de relever les points avec un plomb, comme nous l'avons ci-devant indiqué.

Lorsqu'on veut assembler les chevrons ou les empanons à tenons et mortaises, il faut, après les avoir tracés sur la herse ou développement, et sur le profil, tirer sur chacun, comme pour l'exemple précédent, une perpendiculaire du côté le plus court pour avoir la différence que donne le biais; on tracera par ce moyen la coupe du bout; ayant ensuite mené des

parallèles pour marquer la longueur du tenon, on divisera l'épaisseur du chevron ou de l'empanon en trois, et on menera d'autres parallèles pour marquer l'épaisseur du tenon, ainsi qu'on le voit par les figures 16 et 17. Pour tracer les mortaises sur les arêtiers, on tirera des lignes à plomb sur les côtés aux distances indiquées par le développement. Entre ces lignes on menera des parallèles d'après les distances prises sur le profil, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 18.

Il faut que ces mortaises soient creusées selon la pente indiquée par les lignes de profil. Pour le faire plus facilement, on place l'arêtier de manière que cette direction se trouve d'aplomb; et pour que l'angle des tenons des empanons ne devienne pas trop aigu, on coupe le bout carrément et on creuse la mortaise en conséquence.

Les assemblages de chevrons ou empanons par entailles, se tracent par les mêmes moyens que nous venons d'indiquer, tant pour le bas que pour le haut, c'est-à-dire par des perpendiculaires pour trouver le biais des coupes, ou en posant les pièces sur les faîtages ou les arêtiers telles qu'elles doivent être. Au lieu de former le bout par un angle aigu, on peut le couper carrément, les angles aigus étant toujours vicieux. Ce défaut est encore plus grand pour les tenons en biais des empanons, figure 16.

OBSERVATIONS.

Il y a en construction une règle générale dont on ne devrait jamais s'écarter, à moins d'y être contraint par

la nécessité, c'est que tous les joints ou coupes des pièces qui composent un assemblage quelconque, doivent toujours être perpendiculaires à la surface qu'elles doivent former; cette règle de stéréotomie est commune à la coupe des pierres, à la charpente et à la menuiserie. D'après ce principe, les trois assemblages dont il vient d'être question, devraient être comme ils sont indiqués dans les figures 19, 20 et 21.

Plusieurs auteurs et démonstrateurs de charpente, pour se faire un mérite de la difficulté vaincue, affectent de répartir les moindres irrégularités sur toutes les pièces de la charpente d'un comble, au lieu de se borner à celles sur lesquelles se trouvent les irrégularités ou les difficultés. Par exemple, il est inutile de biaiser les faces latérales des chevrons ou empanons, parce que les surfaces qu'ils doivent former ne sont pas des rectangles ou des triangles isocèles, si d'ailleurs elles sont droites. Quand ces surfaces sont gauches, il suffit de refaire les côtés qui y répondent, ainsi que nous l'avons expliqué pour les combles gauches à deux pentes, en se rappelant ce que nous avons dit des parties triangulaires, qui ne peuvent pas être gauches, à moins que les lignes des arêtiers ne soient pas droites.

Il résulte de ces observations qu'un pavillon à un seul poinçon, dont la base est un polygone quelconque, régulier ou irrégulier, formé par des pentes ou croupes triangulaires répondantes à chaque face, ne présente pas beaucoup plus de difficultés dans son éxécution, qu'un pavillon sur un plan carré.

Il est à propos de donner au poinçon de ces combles la forme du polygone de la base, et de considérer chaque

arêtier comme une demi-ferme, dont l'épaisseur est parallèle à l'arête qui passe par le milieu de l'arêtier.

Pour avoir le rallongement des chevrons et empanons, on fera le développement de chaque triangle de croupe, sur lequel on les indiquera, en observant qu'ils doivent être parallèles à la ligne abaissée perpendiculairement du poinçon formant le sommet du triangle, sur la ligne de face qui lui sert de base, comme on le voit par la figure 22, et après avoir fait les profils correspondans, on tracera sur les bois les rassemblages par la méthode des perpendiculaires ci-devant indiquée, qui peut s'appliquer à toutes sortes de biais, tant en plan qu'en élévation.

S'il s'agit d'un comble à deux pentes, sur un trapézoïde allongé, terminé par deux croupes, comme celui représenté par la figure 23 pour tracer la projection en plan, on commencera par tirer une ligne *e f* du milieu d'une des faces de croupe à l'autre pour marquer la direction du faîtage; on portera sur cette ligne d'une part la moitié *f c* de *f* en *d*, et de l'autre la moitié *b e* de *e* en *g*. Les deux points *d* et *g* indiqueront le milieu des poinçons; ayant ensuite abaissé des points *d* et *g* les perpendiculaires *g* 1, *g* 2, *g* 3, et *d* 1, *d* 2, *d* 3, auxquelles on menera des parallèles à une distance convenable, pour indiquer le milieu des chevrons et des empanons.

Pour avoir leur longueur et leur coupe, on fera le développement de chacune de ces parties d'après les profils faits sur les lignes *g* 1, *g* 2, *g* 3, et *d* 1, *d* 2, *d* 3, qui doivent tous avoir une même hauteur, pour que l'arête du faîtage *g d* puisse être de niveau.

Après avoir tracé sur ces développemens les chevrons et les empanons, pour former ce que les charpentiers appellent les *herses*, on relevera leur coupe par la méthode ci-devant indiquée.

Si le comble n'est pas bien grand, il suffit, pour le soutenir, de quatre demi-fermes et des arêtiers assemblés dans les deux poinçons, qui seront tournés diagonalement pour recevoir leur assemblage. Afin de retenir l'écartement de ces arbalétriers, on posera des plates-formes selon leur direction et celle du faîtage, fortement assemblées les unes avec les autres et avec les plates-formes qui reçoivent les pas des chevrons.

Si la longueur du comble est considérable, outre ces fermes d'arêtiers on en ajoutera d'autres intermédiaires pour soutenir la portée des pannes. On leur donnera, autant qu'il sera possible, une direction perpendiculaire au faîtage.

Des noues.

Lorsque deux parties de bâtiment se réunissent pour former un angle rentrant, comme la fig. 1, pl. CIX, le pli de la couverture qui y répond prend le nom de noue.

La formation de cette noue ne présente pas plus de difficultés que celle d'un arêtier; les empanons s'y assemblent de la même manière : la seule différence est que le dessus forme un angle rentrant, au lieu d'un angle saillant. Comme cet angle est formé par la rencontre de deux surfaces en pente, il faut que la pièce de bois qui forme la noue, porte une partie de chacune de ces surfaces. Pour trouver l'angle qu'elles doivent former, il faut, après avoir fait la projection

en plan de cette pièce, tracer le profil de sa pente au droit du pli, et après avoir porté le reculement de l'angle sur l'horizontale, lui mener une parallèle *c h*, fig. 2; la distance de ces deux parallèles indiquera la mesure du recreusement de l'angle de la pièce. Supposons que *a*, *b*, *c*, *d*, fig. 3, soit le bout de cette pièce coupée carrément, on portera sur le milieu la mesure *f e* du recreusement, et on tirera les lignes *c e*, *e d* qui formeront l'angle du recreusement.

Pour former cet angle plus régulièrement, on peut se servir d'un calibre taillé selon l'angle *c*, *e*, *d*. Pour les coupes du bas et du haut, on opérera comme nous l'avons dit ci-devant pour les arêtiers.

Lorsque plusieurs pièces doivent s'assembler dans un même poinçon, tel que celui A de la figure 4, qui reçoit deux faîtages, un arêtier, une noue et deux chevrons de croupe, on peut, afin de moins affaiblir le poinçon, y pratiquer une entaille tout autour, qui forme une espèce de tête en queue d'aronde. Les pièces assemblées dans cette entaille y seraient retenues par un polygone de fer plat, cloué dessus, qui les réunirait toutes autour du poinçon, de manière à ne pas pouvoir s'en écarter.

La base de ce poinçon formerait un polygone, dont chaque face serait perpendiculaire à la direction de la pièce qui doit s'y assembler.

Tous les joints partant des angles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8, doivent être d'aplomb, et tendre au centre du poinçon.

Manière de tracer l'assemblage de toutes ces pièces.

Nous supposerons que leur position est telle, qu'en traçant sur la face inférieure de chacune une ligne en travers, perpendiculaire à sa direction, elle se trouve de niveau, parce que c'est la position la plus convenable tant pour la solidité que pour la régularité.

Les faîtages B et D, qui sont de niveau, ne présentent aucune difficulté. La projection en plan donne la forme de ses coupes ou déjoutement indiqué par les chiffres 8, 9, 10, et 1 pour le faîtage B. Ces coupes doivent être verticales, c'est-à-dire d'équerre à la surface de dessous; elles sont marquées des mêmes chiffres sur le profil.

La figure 5 indique la coupe du faîtage prise carrément sur la largeur.

La figure 6 indique le profil de la noue, d'après la pente du milieu qui doit aboutir au sommet du poinçon. Cette pente étant tracée ainsi que la verticale A *a* qui passe par le milieu du poinçon, on prendra sur le plan les distances A *b*, A *c*, qu'on portera sur l'horizontale A H du profil aux points b^1 e^1, par lesquelles on menera des parallèles à la verticale A *a*, qui indiqueront la longueur du déjoutement et la direction des arêtes qui le terminent. Si du point 1, on tire au sommet la ligne 1, A, la partie 1, 10 indiquera une des arêtes du dessus en raccourci.

La figure 7 indique la coupe en travers de cette noue prise carrément.

La figure 8 indique le profil de la coupe du bout de

l'arêtier ; on y a tracé par le même procédé les lignes du déjoutement.

Le procédé pour les chevrons de ferme est indiqué par la figure 9. Les pièces se tracent de la manière ordinaire, en les couchant sur le profil ; elles peuvent encore se tracer par le moyen des perpendiculaires *d h*, qui donnent l'obliquité des coupes, en prenant les parties *h* 1, *g* 5, *h* 4, etc. Ce moyen est encore plus expéditif.

Des noulets.

Les noulets sont des espèces de fermes qui se placent à la rencontre d'un comble à deux égouts avec la pente d'un autre plus grand. Ces noulets forment dans la projection en plan, planche CX, figure 1, un angle composé de deux pièces de bois appelées branches de noulet, dans lesquelles s'assemblent de petits chevrons ou empanons.

Lorsqu'il ne s'agit que d'un petit comble comme celui d'une lucarne, les noulets se posent sur la pente du grand toit, c'est-à-dire sur les chevrons ; ce ne sont que des chevrons délardés en biseau pour former le raccordement des pentes du petit comble, et recevoir le pied des fermettes en empanon.

Pour les grands combles, les noulets sont plus considérables ; ils forment des espèces de fermes couchées sur la pente qu'ils rencontrent. Ces fermes sont garnies quelquefois de poinçons, de contre-fiches, de faux entraits et d'esseliers.

L'exécution de ce genre d'ouvrage devient plus difficile en raison de la position et de la forme des surfaces qu'il

s'agit de former, de leur irrégularité, et de la manière plus ou moins oblique dont elles se rencontrent.

Les pièces dont ils se composent ne pouvant, à cause des pentes, être représentées qu'en raccourci sur l'épure ou plan horizontal, il faut trouver,

1°. Leur longueur réelle;

2°. La forme de leur grosseur prise perpendiculairement à leur longueur;

3°. Leur coupe du haut et du bas, et autres assemblages.

Pour déterminer toutes ces choses avec exactitude, il est nécessaire de faire, indépendamment de l'épure ou projection horizontale, l'élévation et le profil des parties du toit dont les noulets forment la réunion. Il est même à propos d'en faire les développemens, pour mieux s'assurer de l'effet qu'ils doivent produire.

Exemple pour un noulet biais, simple.

Sa projection en plan est exprimée par la figure 1: elle représente le raccordement d'un petit toit avec la pente d'un grand comble.

La figure 2 représente une des fermettes entières du petit toit, marquée O N P sur le plan.

La ligne C B, fig. 5, indique la pente du grand comble, qui correspond à la ligne B D du plan, figure 1, perpendiculaire à la ligne de face A C.

La figure 3 est un profil ou élévation de côté, selon la direction du petit toit.

Toutes les surfaces des parties de comble qui se réunissent pour former ce noulet étant inclinées, il ne

doit y avoir, d'après les principes de projection ci-devant démontrés, que la figure 2 où toutes les lignes soient exprimées dans toute leur longueur, parce qu'elles sont parallèles au plan de projection.

Dans la figure 1, il n'y a que les lignes A C, B G, qui soient exprimées selon leur véritable grandeur, parce qu'elles sont horizontales comme le plan de projection.

Il ne se trouve dans la figure 3 que la ligne du faîtage N^{III} B^{II}, et celles qui lui correspondent dans le même plan vertical, telles que B^{II} G^{I} et A O.

Le point B de la figure 1, où se réunissent les arêtes extérieures des branches de noulet, étant plus élevé que les points A et C d'une grandeur égale à N^{I} F, figure 2, laquelle exprime la hauteur du petit comble, pour avoir la vraie longueur des lignes A B, B C, on élevera du point B des perpendiculaires égales à N^{I} F, et on tirera les lignes A N^{II}, C N^{II} qui exprimeront ces longueurs.

La ligne A C ne changeant pas de longueur, on aura les trois lignes pour former le développement de la partie triangulaire de la pente du grand comble, sur laquelle doivent être posées les branches de noulet. Ainsi, ayant formé par le moyen de ces trois lignes le triangle A^{I} B^{I} C^{I}, figure 4, on pourra tracer dessus ces branches dans toute leur longueur et grosseur.

On commencera par chercher le profil d'épaisseur des branches, pris perpendiculairement à leur longueur. Pour cela, on tirera du point G^{I} la perpendiculaire G^{I} H sur A B. Considérant ensuite que le point H est plus élevé que le point G, on prendra la distance du point H à la ligne A^{I} G^{I}, qu'on portera sur le profil

de pente, figure 1, de *c* en *d;* on abaissera la perpendiculaire *d b*. Ayant ensuite décrit sur H G' comme diamètre, une demi-circonférence de cercle, on portera la hauteur *d b* de H en I, et on tirera I G' qui sera la base horizontale de la pente H G. Ayant ensuite élevé du point G' une perpendiculaire à I G' égale à F N', figure 2, qui indique la hauteur du petit comble, on tirera K H qui exprimera la pente du petit comble, répondant à la ligne H G. Ayant ensuite mené à cette ligne une parallèle, à une distance égale à l'épaisseur qu'on veut donner aux chevrons, le point *e* où elle coupera la ligne H G' indiquera la moindre largeur H *e* à donner à cette branche de noulet; le troisième côté du profil d'épaisseur sera formé par une perpendiculaire *e f* sur H K. Cette forme d'épaisseur est suffisante lorsqu'il ne s'agit que d'un petit comble de lucarne, parce qu'on se contente d'arrêter le bas des chevrons avec des chevillettes, sans tenon ni entaille.

Pour les combles plus considérables, on prend pour la largeur de la base H *e*, la coupe oblique *g* P' du chevron de ferme, et on tire comme ci-devant *e f* perpendiculaire à H *f;* on pratique dans la face *e f* des mortaises pour recevoir les tenons des bouts des chevrons.

Il y a des charpentiers qui font le dessus des branches de noulet parallèle au dessous *h e*, en donnant à l'épaisseur *e l* celle d'un chevron, de manière que la largeur du dessus soit assez grande pour que la coupe du chevron puisse poser dessus. On y pratique aussi des mortaises pour recevoir les tenons des chevrons, comme on le voit aux figures 6 et 7; mais on pourrait se con-

tenter d'y faire des entailles comme dans les plates-formes qui reçoivent le pas des chevrons au bas des combles.

Si l'on veut que les branches de noulet portent sur les plates-formes horizontales qui reçoivent les chevrons du petit comble, il faudra, pour avoir le rallongement de l'arête du dessus, observer qu'elle doit se trouver dans un plan parallèle à la pente du comble sur lequel ils sont posés. Ainsi, en menant sur le profil de pente, figure 5, une parallèle à une distance égale à la hauteur de l'arête *f*, au-dessus de la ligne H *e*, figure 4, et élevant du point C la perpendiculaire C *m*, la partie *m n* indiquera l'avancement au droit de la ligne B^1 D^1, figure 4, sur le prolongement de laquelle on le portera de D en *o*. Par ce point *o* on menera une parallèle à A^1 C^1, qui coupera les arêtes aux points *p* et *q*, qui indiqueront leur rallongement, dont on aura la forme en tirant les lignes A^1 *p*, *p* M et *q* R, *q* C^1.

Les branches de noulet étant taillées selon leur forme de grosseur, on les coupera de longueur selon le profil de leur coupe, par le moyen des perpendiculaires L *s*, L *y*, M *r*, et R *x*, en prenant les avances des arêtes d'après ces lignes.

Pour les chevrons de ferme et d'empanon qui doivent former les surfaces inclinées du petit comble, on fera à l'ordinaire le développement de ces surfaces, fig. 10, avec leurs chevrons.

Comme ces chevrons sont posés perpendiculairement à la ligne du milieu B N, figure 1, qui représente l'arête du faîtage, lequel ne change pas de grandeur, il ne s'agira, pour faire ce développement, figure 10

après avoir fait B^{IIII}, N^{IIII} égal à B N, que d'étendre N P, N O selon les lignes de pente de la fermette, figure 2. On fera ensuite les parallèles A^{II} O^{II} et C^{II} P^{II} égales à A O, C P de la figure 1, et on tirera A^{II} B^{II} et B^{II} C^{II}, qui donneront l'ensemble du développement, sur lequel on tracera les chevrons à même distance que dans la figure 1, avec leur assemblage à tenon et fourchette par le haut, et à tenon dans les branches de noulet, dont A^{II} *p* T B^{II} C^{II} R indique le dessus développé, faisant partie de la pente de ce petit comble.

On pratiquera dans ces branches de noulets des mortaises, pour recevoir le bout des empanons terminés en tenons, ainsi qu'on le voit par les figures 6 et 7.

Le tracé de ces assemblages ne présente pas plus de difficulté que ceux des chevrons et empanons ordinaires, et même moins si l'on donne aux branches de noulet la forme d'épaisseur indiquée par *h f e*, figures 4 et 8, où l'on a fait *f e* perpendiculaire à *h f*, en sorte qu'ils peuvent s'établir sur le développement de herse, comme un pan de bois ou un plancher sur son épure.

Les noulets sont quelquefois des fermes complètes représentées par la figure 1 de la planche CXI, qui sont couchées sur la pente du grand comble, et garnies de poinçons, de contre-fiches, d'entraits, d'esseliers et de jambettes. Mais il faut observer que ces fermes ne deviennent difficiles, que parce qu'on affecte mal-à-propos de donner à toutes les pièces dont elles se composent, un biais inutile et même vicieux, puisqu'au lieu d'ajouter

à la solidité, il ne tend qu'à la diminuer. Ces fermes devant être comprises entre deux faces parallèles, il ne peut y avoir que les branches de noulet formant arbalétriers, qui aient besoin d'être assujetties au biais, à cause qu'une de leurs faces doit former une partie des pentes du petit comble, comme dans les noulets simples. Il faut seulement que la forme d'épaisseur de ces noulets soit, comme celle de la figure 2, comprise entre deux faces parallèles *h e*, *f l*, et que celle intérieure leur soit perpendiculaire. Le surplus devient une ferme ordinaire, dont toutes les pièces doivent s'assembler carrément à la surface du comble sur laquelle elle pose, et qui par conséquent se trace et s'exécute comme les fermes ordinaires, en les établissant sur l'épure faite sur le rallongement de la pente. Au reste, toutes les parties semblables et correspondantes de cette ferme, étant marquées des mêmes chiffres et lettres dans les détails et dans l'épure, doivent suffire, d'après ce qui a été dit précédemment, pour l'intelligence de cette espèce de ferme.

Le petit comble est terminé par un faîtage, dans lequel s'assemblent les chevrons et empanons; ce moyen, qui relie plus solidement la ferme couchée avec la ferme droite et les chevrons, a encore l'avantage de former d'une manière plus précise et plus solide l'arête supérieure du petit comble.

Des combles à plusieurs épis ou poinçons.

Nicolas Fourneau, dans son ouvrage de l'Art du trait de Charpenterie, propose deux exemples de comble à

cinq épis, l'un rectangulaire et l'autre oblique avec des avant-corps, nous avons réuni ces deux exemples, avec leurs détails, dans la planche CXII.

Quoique ce genre de couverture présente des inconvéniens, à cause des noues renfoncées, cependant, comme la nécessité peut quelquefois obliger d'y avoir recours pour des pavillons qui ont beaucoup de largeur et d'épaisseur, nous allons indiquer le moyen de les faire de la manière la plus régulière et la moins désavantageuse.

Soit un pavillon dont le plan est représenté par le contour A B C D E F G H de la projection horizontale, figure 1.

On commencera par diviser chaque face en deux parties égales, aux points O, Q, P, R, par lesquels on fera passer les deux diamètres O P, Q R qui se croiseront au centre N, où doit être placé le poinçon du milieu.

Pour avoir la position des quatre autres poinçons, il faut imaginer que les quatre croupes au-dessus des grandes faces font partie d'un toit pyramidal, dont la pointe, répondant au centre N du plan, est beaucoup plus élevée que le toit que l'on veut faire, en sorte que son profil sur la ligne O P serait exprimé par O N^{1} P, et celui sur la ligne Q R par Q N^{11} R qui ont même hauteur.

On portera ensuite la hauteur fixée pour les quatre croupes, qui doit être la même de N^{1} en *b* et de N^{1} en *e*.

On tirera de ces points des parallèles aux lignes de base O P, Q R qui couperont les lignes de pente de ces profils, d'une part aux points *a* et *c*, et de l'autre aux points *d* et *f*.

De ces points on tirera d'autres parallèles aux axes N N', N N'', qui couperont les lignes de milieu O P, Q R aux points I K L M, qui indiqueront sur le plan de projection les sommets des quatre croupes A K B, D L E, E M F et H I A.

Les lignes A K, K B ; D L, L E ; E M, M F ; H I, I A, indiqueront les arêtiers des quatre croupes et les parties des lignes I L, K M qui se croisent au centre N, les faîtages des parties de comble formant noue, qui se réunissent aux croupes ; ces faîtages doivent être de niveau.

Les demi-diagonales N A, N C, N E et N G, indiquent les arêtes renfoncées des quatre noues dont les pentes sont exprimées par les triangles G N''' C, A N'''' E.

Les chevrons ou empanons qui se réunissent aux faîtages I L, K M seront disposés perpendiculairement à ces faîtages ; il faut remarquer que ces chevrons ne formeront pas des losanges concentriques, parce qu'ils ne peuvent se raccorder que sur une des diagonales C N G.

Les chevrons des croupes seront parallèles aux lignes K Q, I O, L P et M R, le tout comme on le voit représenté sur le plan de projection, fig. 1.

Pour avoir le rallongement des pièces représentées en raccourci dans cette projection, on fera le développement des surfaces, figures 2, 3, 4 et 5, en cherchant la longueur des arêtes qui les terminent, telles que celles des arêtiers et des noues qui doivent toutes avoir une même hauteur de pente, puisque les faîtages auxquels elles se raccordent sont de niveau. Pour cela, il suffira d'élever à l'extrémité A d'une ligne horizontale indéfinie, une perpendiculaire A B, figure 6, égale à

cette hauteur de pente. On prendra ensuite sur le plan la longueur de chacune des arêtes dont on voudra avoir le rallongement qu'on portera sur la ligne horizontale à partir du point A au point C, et on tirera la ligne de pente B C, qui exprimera le rallongement que l'on cherche. Ainsi pour le triangle de croupe E F M, après avoir porté E M de A en C et F M de A en D, on tirera les lignes B C, B D qui exprimeront les rallongemens des arêtiers E M, M F; et, comme la ligne de base E F ne change pas de longueur, on aura les trois côtés pour former le développement de ce triangle.

En procédant de la même manière, on aura le développement des autres triangles de croupe. Quant au trapézoïde, tel que N G F M compris entre les arêtiers et les noues, on le divisera en deux triangles par une diagonale telle que M G, pour lesquels on opérera de la même manière.

Ces développemens étant faits, on tracera sur chacun les chevrons ou empanons d'après les divisions de la projection en plan prises sur les lignes de niveau, telles que celles qui représentent les faîtages et les lignes du pourtour formant égout.

Ces espèces d'épures, appelées *herses*, réprésentent les chevrons dans toute leur longueur; elles servent à tracer leurs coupes et leurs assemblages, par les procédés que nous avons ci-devant indiqués, comme on le voit représenté par les figures 2, 3, 4 et 5. Les autres figures autour, dessinées plus en grand, représentent les profils de grosseur des faîtages, des arêtiers et des noues avec leur assemblage, tant dans le poinçon du milieu que dans les quatre autres, et dans les entraits ou sablières du bas.

On démontre en géométrie que les figures semblables de différentes grandeurs ont leurs angles égaux, en sorte qu'elles ne diffèrent que par la longueur de leurs côtés, d'où il résulte que dans une figure qui en représente une plus grande, les angles correspondans sont les mêmes : d'après ce principe, pour avoir les angles que doivent former les dessus des arêtiers, des faîtages et des noues, avec plus de précision, on a cherché, d'après le plan de projection, fig. 1, les angles formés par des sections des pentes qui forment les arêtes de ces noues, faîtages et arêtiers, prises perpendiculairement aux lignes qui représentent ces arêtes.

Ainsi, pour le profil du recreusement de la noue marquée G N, on a porté sur la fig. 6 la ligne G N, figure 1, qui représente la projection de l'arête rentrante du milieu, et on a tiré B C qui exprime la longueur en pente de cette arête. Ayant ensuite tiré sur le plan de projection, figure 1, une perpendiculaire à N G terminée par les points I et M, des croupes qui sont à une même hauteur, ainsi que le point N, on a porté sur la figure 6, la distance N 6 de B en *d*, et on a tiré *d x* perpendiculaire à B C, et *e x* perpendiculaire à A B. Ayant ensuite porté *e x* sur la projection, figure 1, de N en 5, on a formé le triangle I 5 M, qui représente en raccourci le profil de la section perpendiculaire à l'arête rentrante de la noue indiquée par B C, figure 6.

Pour avoir le développement de cette section du point 6, figure 8, qui représente cette noue plus en grand, indiquée par G, on a élévé une perpendiculaire égale à I M, divisée en même raison au point 6, et on a

porté *d x* de la fig. 6, de 6 en 5; enfin, on a formé le triangle I 5 M qui donne l'angle du recreusement de la noue, pris perpendiculairement à sa longueur.

Pour avoir le profil du faîtage marqué L N sur les figures 1 et 8, on a commencé par tirer sur la fig. 1, les lignes A C, E G où se termineraient les pentes partant de l'arête du faîtage I N L, sans les avant-corps A B C, E F G. Ayant ensuite prolongé les lignes L 11, L 12 jusqu'à la rencontre des lignes C A, E G, elles représenteront la projection d'une section perpendiculaire à l'arête du faîtage, qui sera indiquée par un triangle dont la base serait exprimée par une ligne horizontale égale à L 13 plus L 14, et la hauteur égale à *b* N qui indique la hauteur du faîtage.

Ainsi, ayant porté cette hauteur sur la figure 8, de L en P sur le prolongement de l'arête N L, on lui élève par ce point une perpendiculaire sur laquelle on porte L 13 de P en D, et L 14 de P en E. Enfin, on a formé le triangle E L D, dont le sommet donne le profil du dessus du faîtage. On a opéré de même pour trouver le profil des autres noues et faîtages indiqués par les lettres I, A, K, C, E, M, figure 8.

Pour les arêtiers, on a opéré ainsi : par exemple, pour celui indiqué dans les figures 1 et 9 par L E, on a commencé à tirer par un point déterminé *m*, figure 1, une perpendiculaire *g i* à L E, ensuite on a porté L E, de A en C, figure 6. Pour avoir la ligne de pente B C, on a porté E *m* de la figure 1, de C en *m*, figure 6, et du point *m* on a élevé une perpendiculaire sur la pente B C, et du point *h* une autre sur A C; après avoir porté *c k* sur la projection, figure 1, de E en *h*, on

a formé le triangle *g h i*, qui indique la projection en raccourci d'une section perpendiculaire à la ligne de pente de l'arêtier, dont on a fait le développement en tirant par le point *k*, figure 9, une perpendiculaire sur laquelle on a porté *m i* de *k i*, et *m g* de *k* en *g*; ayant ensuite porté *m h* de la figure 6, de *k* en *b*, figure 9, on a formé le triangle *g b i*, dont la partie supérieure indique le profil du dessus de l'arêtier pris perpendiculairement à sa longueur.

On a opéré de même pour l'arêtier L D. Celui des autres arêtiers K B, K A; I A, I H; M F, M E se trouve par le même procédé.

La figure 10 indique l'effet de cette espèce de comble par le moyen des ombres.

Comparaison de différens systèmes pour la composition des fermes de charpente.

Avant de passer aux combles à bases circulaires, nous allons comparer quelques fermes tirées du Recueil de Charpente publié par M. Krafft.

Dans la seconde partie de ce recueil, planche XXXIV, on trouve deux systèmes proposés par M. Styerme, charpentier de Wurtemberg. Le premier, représenté par la figure 1, planche CXIII, consiste :

1.° A tracer un carré dont chaque côté est égal à la moitié de la largeur de l'édifice à couvrir, dont on tire la diagonale pour exprimer la pente.

2°. Du point E où les deux diagonales se coupent, on tire un horizontale E F qui coupe C D en deux, et du point F la ligne F. G qui détermine en M la po-

sition du second entrait, et en K celle d'une clef pendante ou pôteau qui pose sur le grand entrait A D.

3°. Après avoir élevé du point K une verticale qui coupe B C en S, on tire S G qui détermine au point O la position du troisième entrait et la longueur du poinçon.

4°. On élève du point M une autre verticale qui détermine sur B C un point R duquel on tire G R. L'intersection de cette ligne avec celle du dessous du troisième entrait, indique la position d'un autre poteau ou clef pendante qui pose sur le second entrait.

OBSERVATION.

On ne trouve dans l'ouvrage de M. Krafft aucune explication des principes sur lesquels ces procédés peuvent être fondés ; mais cette combinaison ne présente pas une solidité proportionnée au nombre de pièces de bois dont elle est formée. Les clefs pendantes L chargent plutôt qu'elles ne soulagent la portée des entraits, parce qu'elles ne sont pas assez soutenues par les pièces H et I qui sont isolées. Les Italiens ont quelquefois fait usage de cette espèce d'armature pour soutenir la portée des entraits et des arbalétriers des fermes de leurs grands combles ; mais elles se bornaient à des pièces jointives, qui doublaient les arbalétriers et qui étaient assemblées avec un second entrait et des faux poinçons. Il y a cependant des cas où les seconds entraits ont besoin d'être doublés comme les arbalétriers; on soutient alors les pièces qui les doublent par des contre-fiches P isolées des arbalétriers. Lorsqu'elles ont une certaine longueur, il est bon de les lier avec

les moises qui doivent soutenir le grand entrait, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 2. En général, il est bon de remarquer que le moyen le plus sûr de former des fermes solides, est de les composer d'une combinaison de triangles, parce que leur figure ne peut jamais varier, lorsque les pièces qui les forment sont assemblées convenablement.

Cette combinaison peut être faite de plusieurs manières différentes. Dans celle indiquée par la figure 3, on suppose que la ferme est assez considérable pour être divisée en trois étages séparés par des entraits; mais comme les pièces de bois qui forment les principaux triangles auraient une trop grande portée, on les a soutenues dans leur milieu par des moises verticales F H et G I, qui les relient avec les entraits. Il est bon de remarquer que cette combinaison peut se passer de poinçon, ce qui obstrue moins les espaces entre les entraits, si l'on veut y pratiquer des planchers pour des greniers.

Pour établir cette ferme, on a 1°. divisé la hauteur B E en trois parties égales.

2°. Par les points de division 1 et 2 et le point C, on a tiré des lignes prolongées jusqu'à la rencontre du côté A B aux points F et G.

3°. De ces points F et G, on a tiré les horizontales G G et F F qui indiquent la position des entraits intermédiaires.

4°. Après avoir tiré les lignes A K, C K et F L qui indiquent des contre-fiches ou faux arbalétriers, on a tiré les verticales F H, G I, pour indiquer les moises qui doivent les soutenir dans leur portée et les relier avec les entraits et les arbalétriers.

La figure 4 présente une combinaison régulière de triangles, formée par des verticales pour les poinçons, des horizontales pour les entraits, et des parallèles aux arbalétriers pour les contre-fiches.

Pour tracer cette ferme, on a 1°. divisé le grand entrait A C en quatre parties égales.

2°. Des points de division I et E, on a mené les verticales I F et E B; les parallèles D I, E F, I *d*, aux arbalétriers B A et B C; et une parallèle A C, qui passe par les points F G F.

Cette combinaison produit des fermes tres-solides; mais elle a l'inconvénient d'obstruer plus l'intérieur, que le système précédent.

Lorsque les fermes n'ont pas une charge extraordinaire à soutenir, on peut supprimer les deux croix de saint André H et K et la partie de poinçon G E.

On a représenté par la figure 5, une autre combinaison formée par des lignes tirées des extrémités A et C de l'entrait. Ces lignes se croisent au milieu aux points 1 et 2 qui divisent B E en trois parties égales.

Les pièces que ces lignes représentent seraient entretenues par des moises F, H, et le poinçon B, qui divisent les angles F et B en deux également.

Quoique cette combinaison n'ait pas de second entrait, elle produit des fermes aussi solides que les précédentes. C'est la disposition des fermes, et la charge qu'elles ont à soutenir, qui doivent décider pour le choix de la combinaison qui convient le mieux; mais il faut faire attention que la régularité et la symétrie tendent encore à leur donner plus de force et de solidité.

La figure 6 présente un autre système proposé par

M. Stierme, pour les combles dont la hauteur ne doit être que le tiers de la largeur. Son procédé consiste, 1°. à diviser la demi-base A B en six parties égales;

2°. Avec un rayon qui comprend deux de ces divisions, on décrit le quart de cercle I S;

3°. Du point S on mène une horizontale qui détermine au point O le dessus du faux entrait, le haut d'un des faux poinçons O N, et le bas d'une des moises F;

4°. Du point A avec le rayon A H comprenant quatre divisions, on décrit un autre quart de cercle qui détermine la hauteur du poinçon;

5°. Après avoir divisé D S en deux parties égales, on a mené une autre horizontale qui a donné le point E où doit aboutir le haut des moises.

Ce procédé donne une ferme mieux combinée et plus solide que par le premier système de M. Stierme, figure 1; mais elle est beaucoup trop lourde pour l'usage ordinaire. La figure 7 indique le moyen de la rendre plus légère, sans rien diminuer de sa solidité.

On a représenté par la figure 8 la moitié d'une des fermes d'un comble de 80 pieds de largeur, construit sur les murs d'une ancienne église qui sert de salle d'exercice pour les troupes pendant l'hiver et les mauvais tems; elle est aussi tirée du Recueil de charpente de M. Krafft, deuxième partie, planche XXXVI *bis*.

Cette ferme ne présente dans la combinaison de ses pièces ni principe ni régularité. A l'exception de la jambe de force C, les autres pièces placées sous le grand entrait contribuent plutôt à le surcharger qu'à le soutenir. Les moises horizontales B, E, les clefs pendantes I, les doubles arbalétriers F, et les contre-fiches D,

quoique mal disposés, suffisaient, sans les grandes moises G H et les autres pièces qui y tiennent.

La figure 9 offre, pour le même comble, une combinaison de ferme plus simple et plus régulière, qui produirait plus de solidité avec moins de bois et de dépense.

Le grand entrait A B se trouve fortifié en dessous par des jambes de force C C, et par des doubles chapeaux D, qui diminuent sa portée de moitié; il est de plus soutenu par une moise pendante E, en sorte que sa longueur pourrait être composée de trois pièces assemblées à trait de Jupiter.

Le second entrait F est fortifié par une doublure G soutenue à chaque bout par une contre-fiche H qui butte contre une plate-forme I, pour ne pas affaiblir le grand entrait par des mortaises.

L'arbalétrier K, qui porte quatre rangs de pannes, est soutenu 1°. par le second entrait F qui forme moise; 2°. par une armature composée d'une doublure L contre-butée d'une part par une jambette M en continuation de la jambe de force C, et de l'autre par une contre-fiche N qui s'assemble dans le poinçon O.

Pour procurer une plus grande fermeté dans la réunion des pièces, on peut garnir tous les angles aigus par des tasseaux P, ainsi que je l'ai vu pratiqué dans plusieurs charpentes d'Italie; dans quelques-unes, il s'en trouve dans le bas du poinçon, pour éviter de l'entailler par des mortaises.

La figure 1 de la planche CXIV représente une des fermes du comble du théâtre d'Argentine à Rome; sa longueur dans œuvre est d'environ 75 pieds $\frac{1}{2}$, elle est composée de deux arbalétriers formant des pentes in-

clinées de 24 degrés, et assemblés par le haut avec un petit poinçon sans contre-fiches, mais garnis de plates-bandes de fer qui peuvent en tenir lieu. Par le bas, ils sont retenus par un grand entrait avec lequel ils sont reliés par des liens de fer. La longueur de cet entrait est en trois pièces assemblées à trait de Jupiter.

Chacun des arbalétriers est chargé de douze rangs de pannes qui portent de forts chevrons; ils ne sont espacés que de 9 à 10 pouces, et soutiennent une couverture fort lourde en tuiles. Chacun de ces arbalétriers est en deux pièces assemblées aussi à trait de Jupiter.

Cette ferme est fortifiée à l'intérieur par une armature composée d'un second entrait et de deux contre-fiches ou faux arbalétriers, assemblés avec deux faux poinçons. Ces trois poinçons servent aussi à soulager la portée des entraits par le moyen d'étriers de fer. Cette disposition produit une ferme très-solide, capable de soutenir, indépendamment de la couverture, l'effort des machines de théâtre et le poids des ciels et des plafonds qui y sont suspendus.

La figure 2 représente une des fermes de la charpente du théâtre de l'Odéon, faite à l'imitation de celle du théâtre d'Argentine. La longueur dans œuvre de cette ferme est de 73 pieds. La pente formée par les arbalétriers est de 34 degrés, ce qui fait que les étriers qui soutiennent les entraits sont beaucoup plus longs. Cette ferme est moins forte que celle du théâtre d'Argentine; mais elle soutient une couverture moins pesante, et elle est en bois de chêne, tandis que celle d'Argentine est en sapin.

Je pense cependant qu'elle serait mieux, si le poinçon

du milieu était maintenu par deux contre-fiches, et si l'on subtituait aux deux faux poinçons et aux étriers de fer qui y répondent, des moises pendantes, comme on le voit indiqué par la figure 3. Ces moises, qui peuvent autant résister en tirant qu'en poussant, maintiendraient les pièces avec plus de fermeté et de solidité. Comme ces pièces réduisent la portée du grand entrait à moins de moitié, on pourrait supprimer l'étrier de fer qui correspond au poinçon du milieu.

Nous avons réuni dans la planche CXV deux fermes de comble de salle d'opéra, qui exigent plus de force à cause des machines qu'on a coutume d'y placer pour le jeu des ciels et des plafonds. L'une de ces fermes, dont la moitié est représentée par la figure 1, est de l'Opéra actuel de Paris.

Si l'on suppose que la position des moises B et C, qui forment le second et le troisième entraits, est donnée, on trouve que le troisième entrait C qui entretient les arbalétriers, le poinçon et les contre-fiches qui s'y assemblent, forme une bonne combinaison d'assemblage pour la solidité.

Quant aux autres pièces qui garnissent l'intérieur de la ferme, elles ne sont pas combinées d'une manière aussi avantageuse; les espaces ne sont pas distribués assez également; on voit des endroits où les assemblages sont trop rapprochés, et d'autres où ils sont trop éloignés. On peut supprimer les jambettes F et K, qui posent sur les entraits B et A, en des points qui ne sont pas soutenus, de même que la contre-fiche G et le lien H assemblés dans un poteau d'aplomb, qui pose à faux sur le grand plancher du bas. Au lieu de toute

ces pièces, il aurait été plus convenable de placer des poteaux Q et R, figure 2, en prolongement de ceux de dessous avec une jambe de force O, pour soutenir le bout d'entrait A, et une moise au-dessus P suivant la même direction pour soulager la portée du second entrait B, et l'arbalétrier au point S; enfin une contre-fiche T assemblée dans le poteau V placé en dedans du mur de face, pour lui faire porter une plus grande partie du poids de la ferme et soulager le poteau Q. On reconnaîtra facilement que dans cette combinaison les pièces de bois, étant distribuées plus également, doivent former une ferme plus solide, quoique composée d'une moindre quantité de pièces.

La figure 3 représente une demi-ferme du grand théâtre de Bordeaux, formant une espèce de toit brisé en mansarde.

Il est évident que le pli de ce comble devrait être retenu par un entrait G, comme on le voit figure 4, et que l'entrait B qui est posé plus bas ne produit pas le même effet, malgré les armatures formées par les moises C, D, E, figure 3.

L'entrait G, figure 4, qui formerait un triangle avec les arbalétriers du haut, et qui serait subdivisé en quatre autres par le poinçon et les liens K, produirait une combinaison très-solide qui ne peut pas varier de forme; de même que les triangles formés par les arbalétriers du bas et l'entrait G réunis par les contre-fiches H.

D'une autre part, le grand entrait A, soutenu en-dessous par des liens O et des contre-fiches L, qui buttent contre la doublure M, se trouverait dans le cas de soutenir un plancher et une charge considérable, au moyen des

moises pendantes I, I, qui réunissent d'une manière très-solide les trois parties de cette ferme, et la rendent capable de résister aux plus grands efforts.

On peut remarquer dans cette figure une combinaison plus régulière et une distribution plus égale; deux conditions essentielles pour la composition des fermes.

Ferme du comble d'un grand manége, construit à Moscou, tirée du Recueil de Charpente de M. Krafft, 2e. partie, n°. 39.

L'empereur Paul Ier., dans le cours de ses voyages en 1781, visita les édifices les plus remarquables des pays qu'il parcourut. Un de ceux qui lui causèrent le plus d'étonnement, fut la grande salle d'exercice de Darmstadt, dans laquelle on fait manœuvrer les troupes pendant l'hiver pour ne pas interrompre leur instruction.

Après l'avoir admirée, il demanda que les artistes s'occupassent d'un projet de manége, pour être construit à Moscou, sur un terrain de 1800 pieds de long sur 290 de large à l'extérieur, et 220 pieds à l'intérieur, avec une galerie autour pour les spectateurs, des poêles et des conduits pour l'échauffer. Un projet qui réunissait toutes ces conditions fut présenté par un charpentier allemand; l'empereur le fit exécuter en 1790. Il sert de salle d'exercice pour l'infanterie et la cavalerie des Cosaques.

La figure 1 de la planche CXVI représente le plan de ce manége; la figure 2, l'élévation extérieure d'une des petites faces. La coupe en travers sur la largeur est exprimée par les figures 3 et 4, dessinées sur une

échelle plus grande, afin de pouvoir représenter la charpente avec tous ses détails. Le comble est à deux pentes, avec une grande lanterne au milieu pour éclairer l'intérieur. Les pentes sont dans la proportion du fronton; elles ne sont inclinées à l'horizon que d'environ 19 degrés

Le principal soutien de chacune des fermes de cette charpente est un arc en bois formé de trois rangs de pièces posées les unes sur les autres, assemblées à crémaillère, et entretenues avec des boulons et des plates-bandes de fer. Les arbalétriers qui portent le toit et les grands entraits de cette immense salle, sont suspendus par de fortes moises pendantes, assemblées aussi à crémaillère avec des boulons et des plates-bandes de fer; elles sont entretenues par de grandes contre-fiches formant croix de saint André.

Malgré cette disposition, qui est fort bien imaginée, il paraît que le toit a fléchi, puisqu'on a proposé d'ajouter à chaque ferme une forte lierne en cintre Y, indiqué par des lignes ponctuées dans l'ouvrage de M. Krafft, sans autre explication. En considérant la portée extraordinaire de cette ferme, son propre poids et sa charge, qui va en augmentant à mesure qu'elle s'éloigne des points d'appui, à cause de la figure triangulaire des fermes, on trouve qu'il ne suffit pas d'un seul entrait pour maintenir l'effort de l'arc immense qui fait son principal soutien, et du poids énorme dont il est chargé; effort qui, d'après le calcul, se trouve de plus de 1200 milliers. Quelque bien faits que puissent être cet arc et les autres parties de charpente, ces considérations nous ont engagé à proposer une autre combinaison, figure 4, en conservant le grand arc et les moises pendantes verticales; elle consiste:

1°. En une moise horizontale M N placée au-dessus de l'extrados de l'arc de charpente formant entrait, pour la partie supérieure du comble, et comprenant les quatre divisions des moises pendantes du milieu.

2°. En trois autres moises inclinées A B, B C et F G, formant cordes aux moitiés et aux trois quarts de l'arc. Ces cordes seraient soutenues dans leur portée par les moises pendantes suspendues à l'arc qui soutiennent le dessus du toit et le plafond formant plancher au-dessus de la salle. Au moyen de cette combinaison, les contre-fiches en croix de Saint André deviennent inutiles, et la ferme se trouve maintenue dans toute sa portée d'une manière convenable. Les fig. 5, 6 et 7 indiquent des détails d'assemblage sur une échelle double de celle de la coupe.

Des combles à base circulaire.

Les bâtimens à base circulaire sont ordinairement terminés par des toits qui présentent la forme d'un cône. Les combles de charpente qui forment cette espèce de toit se composent de principaux chevrons en demi-fermes, assemblés par le haut dans un poinçon commun B, figure 1 et 2, planche CXVII, placé au centre, et par le bas dans une plate-forme circulaire souvent double comme C D, dont les pièces sont réunies par des entre-toises E appelées *blochets*. Les pièces du côté de l'intérieur servent à recevoir de petits potelets pour fortifier le pied des chevrons; ces potelets sont appelés *jambettes*. Les chevrons sont encore soutenus dans leur portée par de faux entraits F G assemblés dans le poinçon.

L'intervalle entre les principaux chevrons est rempli par d'autres, dont le nombre diminue en raison de la circonférence qui va en rétrécissant du bas en haut.

Vers la pointe, le bout du poinçon suffit pour former le sommet du cône continué jusqu'à une certaine distance par les principaux chevrons qui se joignent.

Lorsqu'on ne veut pas continuer les chevrons jointifs pour les parties au-dessous, on place à l'endroit où ces chevrons sont éloignés de 15 à 18 pouces, des liernes ou entre-toises circulaires H qui les réunissent et servent à fixer par le haut d'autres chevrons intermédiaires au milieu de l'intervalle des autres; et plus bas à l'endroit où ces chevrons se trouvent encore éloignés de 15 à 18 pouces, on établit un nouveau rang de liernes T, pour recevoir dans leur milieu d'autres chevrons, et ainsi de suite jusqu'au bas du comble où les pieds des chevrons peuvent être éloignés de 15 à 18 pouces de milieu en milieu. La fig. 2 indique cette disposition en plan, et la fig. 1 en élévation.

Les liernes qui réunissent les chevrons peuvent être considérées comme des parties de cône évidé, dont les surfaces dépendent de quatre cônes différens.

1°. La surface *c b* du dessus, figure 3, fait partie de celle d'un cône dont le sommet *a* est déterminé par le côté *c b* prolongé jusqu'à l'axe.

2°. La surface de dessous *e f*, fait partie de celle d'un cône dont le sommet est déterminé par *e f* prolongé en *g*.

3°. La surface extérieure *c f* fait partie du grand cône, dont le sommet est en B.

4°. La surface intérieure *b e* fait partie d'un cône, dont le sommet est en *h*.

Pour former cette lierne régulièrement, comme si elle devait être apparente sur toutes ses faces, il faudrait la prendre dans une pièce de bois dont la longueur et la largeur seraient exprimées en plan par le rectangle 1, 2, 3 et 4, figure 4, et son épaisseur par la distance comprise entre les lignes horizontales 5, 6, 7 et 8 du profil, figure 3.

Le dessus et le dessous de cette pièce étant bien dressés, on la posera de niveau sur l'épure, et on tirera sur le milieu de sa longueur une perpendiculaire qui passe par le centre *p*, élevé à la même hauteur que le dessus de la pièce, en sorte qu'on ait *p f* égal à *f*, 12 du profil.

De ce point *p*, comme centre, on décrira un arc de cercle avec un rayon égal à *c* 9 du profil, qui exprimera l'arête supérieure de la surface conique extérieure marquée *c* dans le profil.

Du même centre *p* et avec des rayons égaux à 5, 9 et 6, 9, on décrira deux autres arcs concentriques pour exprimer les arêtes supérieures des surfaces cylindriques préparatoires, qui doivent servir à trouver l'arête supérieure de la surface conique de l'intérieur marquée *b* dans le profil, et l'arête inférieure de la surface conique de l'extérieur marquée *f*. Pour avoir l'arête inférieure de la surface conique du dedans marquée *e*, on retournera la pièce, et on opèrera de la même manière que pour la surface de dessus, c'est-à-dire qu'après avoir prolongé la perpendiculaire tirée du milieu de la longueur, on décrira du centre *p* un arc avec un rayon égal à 11, *e*, qui exprimera l'arête inférieure de la surface conique indiquée dans le profil par

b e. Ayant ensuite tiré du centre *p*, des lignes droites *g h* qui déterminent la longueur de la pièce en y comprenant les tenons, on formera les surfaces cylindriques préparatoires qui doivent être d'aplomb; sur ces surfaces on tracera des parallèles aux arêtes 5 et 6, qui les terminent par le haut à des distances indiquées par 5 *f* et 6 *b* du profil. Ces lignes ou arcs étant tracées, on aura toutes les autres courbes qui doivent terminer les quatre surfaces de la lierne.

Pour développer ces surfaces régulièrement, il faudra diviser les arêtes indiquées dans le profil par les lettres *c*, *f*, *e*, *b*, chacune en un même nombre de parties égales, et abattre les parties triangulaires 5, *c*, *f*; *f*, 7, *e*; *e*, 8, *b* et *b*, *c*, 6, en allant en ligne droite des points de l'arête *c* à ceux de l'arête *f*, et de ces derniers à ceux de l'arête *b* et de *b* en *c*.

Les surfaces de cette lierne étant développées, on tracera les tenons des bouts *k* et l'entaille du milieu *i*, qui doit recevoir le haut du chevron intermédiaire, comme on le voit par la figure 4, ce qui ne présente pas de difficulté.

Il faut remarquer qu'il n'est presque jamais nécessaire de faire d'autres surfaces coniques, que celles de l'extérieur et de l'intérieur. Ainsi pour former la lierne de cette manière, on prendra une pièce plus large que haute qui sera placée horizontalement, comme l'indique le profil, fig. 5; on tracera par le procédé de l'exemple précédent, sur les faces horizontales de dessus et de dessous, les courbes qui doivent former les arêtes indiquées dans le profil par les lettres *c*, *f*, *e*, *b*, qu'on divisera chacune en parties égales, afin de poser la

règle pour abattre les triangles *m c f* et *b e n*, comme il a été ci-devant expliqué.

Les assemblages des chevrons, des faux entraits, des jambettes et des plates-formes, n'exigent pas d'explication particulière; il suffit de les avoir indiqués dans les figures 1 et 2.

Il y a des auteurs, tels que Mathurin Jousse, qui indiquent dans leurs épures autant de faux entraits que de chevrons; mais cette multitude est inutile; et, dans le cas même où ils formeraient plancher, il suffirait de ne les mettre que de deux chevrons en deux chevrons, comme ils sont indiqués à la figure 6.

Tout ce que nous venons de dire pour un comble formant un cône entier, peut s'appliquer à une partie de comble formant un demi-cône, tel que le toit du chevet d'une église, qui se raccorde avec celui des nefs représenté en plan par la figure 7, et en général à une partie de cône quelconque régulier ou irrégulier, droit ou oblique.

Lorsque la base ou la coupe horizontale du cône à former donne une autre courbe que le cercle, le moyen le plus simple et le plus expéditif est d'en lever le calibre sur l'épure, pour la tracer sur la pièce de bois. Les courbes représentant les arêtes des surfaces coniques, étant divisées en parties égales ou proportionnelles, donneront les points pour appliquer la règle et former les surfaces, en abattant les parties triangulaires, comme nous l'avons expliqué pour les liernes des cônes droits.

Comble conique droit, coupé par un mur d'aplomb.

La surface d'un toit conique qui rencontre un mur d'aplomb, forme sur ce mur une courbe connue sous le nom d'hyperbole, dont il a été question au troisième livre, page 133, où l'on donne la manière de la décrire; mais elle peut être tracée aussi exactement par la méthode ordinaire de projection en usage pour la coupe des pierres et des bois.

La figure 9 indique le profil perpendiculaire au mur qui coupe le toit conique. La partie retranchée G C S est divisée en sept parties égales aux points 1, 2, 3, 4, 5 et 6, par lesquels on suppose qu'il passe des cercles parallèles à la base, dont tous les centres se trouvent sur l'axe B H, et qui forment en plan, figure 10, des arcs concentriques coupés par la ligne Q R, qui représente la projection de la surface du mur élevé perpendiculairement sur ce plan. Pour rendre l'opération plus distincte, on a mené du point c' de la base en plan, une parallèle indéfinie à Q R, dont une partie C N représente le profil de la face du mur, figure 9, et l'autre Q' R', la base de cette face relevée de C' en N', fig. 11.

De tous les points 1, 2, 3, 4, etc., où les arcs concentriques rencontrent la ligne Q R, et du milieu, on a élevé des perpendiculaires indéfinies sur lesquelles on a renvoyé, par des parallèles et des arcs de cercle, les hauteurs correspondantes de la ligne de profil C N égale à S G, figure 9. Par les points de rencontre Q', $6''$, $5''$, $4''$, $3''$, $2''$, $1''$, N', $1'''$, $2'''$, $3'''$, $4'''$, $5'''$, $6'''$, R', on a tracé la courbe hyperbolique formée par la rencontre du mur

et la surface du toit conique. Tous les renvois sont marqués des mêmes chiffres, afin qu'on puisse mieux suivre les opérations.

Si les chevrons du comble ne doivent pas être scellés dans le mur qui forme la coupure, on établira une espèce de ferme placée contre, et représentée par la fig. 11, dont le contour est formé par deux hyperboles égales et parallèles qui comprennent son épaisseur. Cette ferme peut être considérée comme un noulet posé le long du mur, pour recevoir une gouttière en plomb.

Comble conique coupé par une pente droite.

Lorsqu'un comble conique rencontre la pente droite d'un autre comble, la courbe qui en résulte peut être une ellipse, une parabole ou une hyperbole. Ce sera une ellipse si la pente D F du comble conique A B C, figure 12, est plus grande que celle du comble droit; ce sera une parabole si la pente E G du comble droit est égale à celle du comble conique; enfin, si la pente du comble droit H I est plus roide que celle du comble conique, la courbe formée par leur rencontre sera une hyperbole. Mais il est bon d'observer que, dans tous les cas, l'opération pour tracer cette courbe est la même que pour l'exemple précédent, ainsi que pour celui dont il s'agit, représenté par les figures 13, 14 et 15.

La figure 13 représente le profil du comble conique coupé par une pente droite, indiquée par la ligne N S.

Pour avoir la courbe qui résulte de cette section, on a divisé la partie A N S du cône, retranchée par des parallèles à sa base exprimée en plan par des

arcs de cercle, figure 14. Les extrémités de ces arcs sont déterminées par des perpendiculaires abaissées des points N, 6, 7, 8, 9, 10 et S. Par l'extrémité de ces arcs, on a tracé une courbe qui est la projection en raccourci de celle formée par la rencontre des surfaces des deux parties de comble.

Pour avoir cette courbe dans toute son étendue, on a tiré des points S^{i}, 10^{i}, 9^{i}, 8^{i}, 7^{i}. 6^{i}, N^{i}, 6^{ii}, 7^{ii}, 8^{ii}, 9^{ii}, 10^{ii}, S^{ii}, des perpendiculaires indéfinies à la corde ou base S^{i}, S^{ii}, sur lesquelles on a reporté par des arcs de cercle et des parallèles, les hauteurs correspondantes 5, 10, 9, 8, 7, 6, N du profil, figure 13, qui donneront les points S^{iii}, 10^{iii}, 9^{iii}, 8^{iii}, 7^{iii}, 6^{iii}, N^{iii} 6^{iv} 7^{iv} 8^{iv} 9^{iv} 10^{iv} S^{iv}, par lesquels on a fait passer une courbe qui est celle formée par le cône sur la surface en pente qu'il rencontre, et qui indique l'arête inférieure du noulet, lequel doit recevoir le pied des chevrons du toit conique, si les pièces qui le composent font partie du comble conique; mais, si elles doivent faire partie du comble droit, elles peuvent être simplement formées de pièces droites qui aient assez de largeur, pour pouvoir y tracer la courbe dont on vient de parler, et placer le pied des chevrons, ainsi qu'on le voit indiqué par la fig. 15.

Lorsque le noulet doit être placé sur la pente du comble droit, et faire partie du comble conique, il faut, pour avoir la courbe qui doit former l'arête supérieure, tirer sur le profil, figure 13, une parallèle à N S qui indique son épaisseur, et d'après cette ligne *n* O coupée par les mêmes divisions que N S, on abaissera d'autres parallèles à l'axe B O prolongées sur la fig. 14, pour déterminer, comme pour la ligne N S, les extré-

mités des arcs concentriques qui donneront, en faisant passer une courbe par tous ces points, la projection en raccourci de l'arête supérieure.

Pour avoir son développement, on tirera des points S^{III}, 10^{v}, 9^{v}, 8^{v}, 7^{v}, 6^{v}, N^{IV}, 6^{VI}, 7^{VI}, 8^{VI}, 9^{VI}, 10^{VI}, S^{v}, des parallèles indéfinies à N^{I}, N^{II}, figures 14 et 15, sur lesquelles on portera, à partir de la ligne S^{IV} S^{v}, les hauteurs correspondantes *o*, 10, 9, 8, 7, 6 et *n*, prises sur la ligne *n o*, figure 13, ou bien on les renverra par des arcs et des parallèles comme il est indiqué.

Pour former la surface conique de ce noulet, il faut tracer ces deux courbes sur les pièces de bois qui doivent la former, en se servant, pour plus de facilité, de calibres relevés sur l'épure; on abattra ensuite le bois d'une courbe à l'autre en se dirigeant à un point B, qui indique le sommet du cône. Pour cela, on placera le noulet sur l'épure de manière que l'axe réponde à la ligne OB, comme on le voit indiqué par la figure 13, en supposant la ligne OB horizontale, ou bien on marquera sur chaque courbe les points où les lignes droites tendantes au sommet du cône correspondent.

Pour les trouver, on tirera de tous les points qui ont servi à tracer sur l'épure la courbe inférieure indiquée par la droite NS, figure 13, et dans la figure 14, par la courbe S^{I} N^{I} S^{II}, des lignes au sommet du cône B, figure 13, ou au centre D, figure 14, qui y répond. Ces lignes marqueront sur l'autre courbe désignée sur la figure 13 par *n o*, et sur la figure 14 par S^{III} n^{I}, S^{IV}, les points correspondans des lignes tendantes au sommet du cône, qu'on transportera sur les courbes tracées sur les

pièces de bois, afin d'abattre le bois à la règle, d'un point à l'autre.

Comble conique pénétré par un comble droit, à deux pentes, plus petit.

La rencontre de ces deux espèces de comble produit deux arêtes rentrantes, qui forment un angle curviligne, figure A, planche CXVIII.

La courbe de ces arêtes sera, comme nous l'avons expliqué pour l'exemple précédent, une parabole, si les pentes des deux combles sont égales; elle sera une ellipse, si l'inclinaison du comble conique est plus grande; et une hyperbole, si elle est plus petite, comme on le voit par les figures B, C, D.

Un comble à deux pentes peut rencontrer un comble conique dans une infinité de directions différentes; mais celle qui convient le mieux pour la solidité, la régularité et le bon effet, est lorsque l'arête du faîtage du comble à deux pentes se dirige à l'axe du comble conique.

Les figures 1, 2 et 3 présentent cette disposition en élévation, en profil et en plan.

Pour avoir les points des courbes, on a divisé ces trois projections en tranches horizontales d'égale épaisseur, par des parallèles et des arcs concentriques indiqués par les chiffres 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Il faut remarquer que dans la projection en plan, fig. 3, ce sont les intersections des parallèles du comble à deux pentes avec les arcs concentriques du comble conique, qui déterminent les points *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n* de la courbe D *k* E, formée par la rencontre des surfaces des deux combles.

Pour exprimer cette arête dans le profil, fig. 2, on a élevé de tous les points de sa projection D, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, figure 3, des perpendiculaires jusqu'à la rencontre des divisions correspondantes indiquées par des parallèles dans la figure 2; ce qui a donné la courbe E', *n*', *m*', *l*', *h*', *i*', *k*', D'.

La largeur des pièces ou noulets qui forment le raccordement de ces toits, faisant partie du comble à deux pentes, il n'y a que les surfaces qui doivent se raccorder avec le comble conique, qui aient besoin d'être courbes, et les arêtes qui les renferment. Les autres arêtes étant droites, il suffit des points de leurs extrémités pour tracer leur projection ou leur développement.

Pour la largeur du dessus, on a commencé par fixer les deux points *e* et *d* sur le profil, figure 2, par lesquels on a tiré la ligne droite *e d*.

Pour indiquer cette largeur dans la projection en plan, figure 3, on a abaissé des points *e* et *d*, figure 2, des perpendiculaires qui ont déterminé sur la figure 3 les points correspondans *e*', *d*', par lesquels on a tiré une ligne droite qui forme, avec la courbe D *k* E, le dessus d'une des branches de noulet.

Cette branche ayant une double inclinaison, la face droite qui exprime son épaisseur du côté de la ligne *e*' *d*', doit paraître sur la projection en plan, figure 3.

Pour trouver la ligne *b*' *o* qui la termine, on a pris sur l'élévation, figure 1, qui donne la projection verticale du noulet vu de face, son épaisseur A *b* coupée obliquement, qu'on a portée de *d*' en *b*' sur la ligne *d*' *p*, figure 3, représentant la base A *p* de la figure 1; par le point *b*', on a amené la parallèle *b*' *o* à *d*' *e*' pour

exprimer l'épaisseur du noulet renfermé entre ces parallèles.

Sur cette épaisseur on a mené des points 1^1, 2^1, 3^1, 4^1, 5^1 et 6^1, des parallèles à la base d^1 p^1 qui indiquent, avec celles de dessus, la division de cette branche de noulet, en tranches horizontales correspondantes à celles indiquées sur les figures 1 et 2.

Pour marquer ces divisions sur la face de dessous du noulet, on a tiré des points 7, 8, 9, 10 et 11 de l'arête inférieure de la face d'épaisseur, des parallèles aux divisions de dessus jusqu'aux points de rencontre des arcs de cercles concentriques, prolongés aux points 14, 15, 16, 17 et 18, par lesquels ont a fait passer une courbe représentant l'arête inférieure du noulet qui doit se raccorder avec le comble conique.

Ces lignes, qui forment des quadrilatères, indiquent la forme d'épaisseur de chaque division.

Considérant ensuite que, dans les figures 1, 2 et 3, la longueur de la branche de noulet est représentée en raccourci, on a voulu donner dans la figure 5, le noulet dans toute son étendue; pour cela, on a supposé que la branche de fermette, figure 4, qui représente une projection verticale des noulets, a tourné autour du point C, en sorte que A C est devenu parallèle à la ligne de base p^1 A, et comme dans ce mouvement toutes les parties et les divisions de cette branche conservent leur forme et leur position respective, on s'en est servi comme d'un profil pour avoir son développement, en tirant des perpendiculaires A^{11} C^1 de tous les angles et points de division.

Considérant, de plus, que la projection verticale ex-

primée par la figure 1 ne représente qu'un raccourci de la face inclinée des noulets, nous l'avons regardé comme une projection verticale indiquée dans le profil, fig. 2, par la ligne *c d*, et dans le plan par d^1 *p*.

D'après les lignes qui représentent ce plan, on a mesuré sur chaque division les distances des angles et des points de la courbe qui se raccorde avec le comble conique. Pour cette opération, on a commencé par mener à A^{11} C^1, figure 4, une parallèle d^{11} p^{11} pour représenter la projection du plan vertical; ayant ensuite pris sur les figures 2 ou 3, la distance de l'angle *e*, formé par les arêtes droites du dessus du noulet, on l'a portée de p^{11} en e^{11}, et on a tiré la ligne d^{11} e^{11}, qui indique cette arête dans toute son étendue.

Pour l'arête courbe, on a pris sur les mêmes figures 2 ou 3 les largeurs e^1 E, 6^1 *n*, 5^1 *m*, 4^1 *l*, 3^1 *k*, 2^1 *i*, 1^1 *h*, *d* D^1 qu'on a portées sur les divisions correspondantes, figure 5, et l'on a tracé la courbe D^{11} *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, E^{11}, qui exprime dans toute son étendue l'arête de dessus de la branche de noulet, qui doit se raccorder avec la surface du comble conique.

Pour représenter la projection de la face droite qui forme l'épaisseur de ces noulets, laquelle est indiquée dans la figure 3 par les lignes b^1 o^1, d^1 e^1, avec les divisions correspondantes à la face de dessus, on a considéré que cette branche de noulet, en s'étendant pour se placer sur un plan horizontal, a un double mouvement, qui fait que l'arête droite e^1 d^1 tourne en arrière pour prendre la position e^1 *s*; d'où il résulte que les parallèles tracées sur la face d'épaisseur éprouvent un

changement de direction indiqué par l'angle $d^{\prime}\ e^{\prime}\ s$. Pour l'exprimer sur la figure 5, on a tiré une ligne $d^{\prime\prime}\ q$, qui fait avec $d\ p^{\prime\prime}$ un angle égal à $d^{\prime}\ e^{\prime}\ s$ de la figure 3; cette ligne exprime la direction que prend la base; ensuite, du point $b^{\prime\prime}$, où la perpendiculaire tirée du point b de la fig. 4 rencontre cette ligne, on a tiré une parallèle à $d^{\prime\prime}\ e^{\prime\prime}$, pour indiquer la projection de la face d'épaisseur; enfin, de tous les points de division 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de l'arête $d^{\prime\prime}\ e^{\prime\prime}$, on a mené des parallèles à $d^{\prime\prime}\ q$ pour les exprimer sur cette face.

Pour la face de dessous, on a tiré des points 7, 8, 9, 10 et 11, des parallèles aux lignes de division du dessus, sur lesquelles on a porté les largeurs correspondantes 11, 14; 10, 15; 9, 16; 8, 17; 7, 18; et $b^{\prime}$, 19, prises sur la figure 3.

Pour indiquer les divisions sur la projection de la face courbe qui doit joindre le comble conique, on a réuni les points 13, n; 14, m; 15, l; 16, k; 17, i; 18, h et 19, $D^{\prime\prime}$, par des lignes sensiblement courbes qui doivent être des parties d'ellipse.

La réunion des lignes de division tracées sur chaque face, donne, comme dans la figure 3, des quadrilatères qui indiquent la forme de grosseur à chaque division.

Nous avons déjà dit, à l'occasion des noulets, page 204, que la méthode la plus simple et la plus facile pour les exécuter, était de former un prisme qu'il ne s'agit plus que de couper de longueur selon le profil des coupes, en raison de leur assemblage. Il ne faut pour cela que la forme de grosseur, coupée perpendiculairement à la longueur de chaque branche. Mais comme la

largeur de celle-ci varie à chaque division, on préparera une pièce de bois à laquelle on donnera une épaisseur égale à celle comprise entre les parallèles C A et o^{1} b^{1}, figure 4, et une longueur égale à $C^{11}A^{1}$; il faut que sa largeur d'un bout puisse porter celle indiquée par 21, D^{11}, et de l'autre, celle indiquée par 20, E^{11}, figure 5. Ensuite, après avoir dressé un côté d'équerre aux faces, on tracera sur celle de dessus, à une distance de l'arête égale à *r z*, une parallèle pour indiquer le démaigrissement que doit éprouver cette pièce, en abattant la partie triangulaire de bois comprise entre cette ligne et l'arête de dessous *r*. Pour tracer les arêtes courbes des faces de dessus et de dessous, on tirera des parallèles comme pour la figure 5, sur chacune desquelles on portera les largeurs correspondantes à partir des arêtes droites b^{11}, o^{11} et d^{11}, e^{11}, et par tous ces points on tracera les courbes que doivent former ces arêtes, avec une règle pliante. On peut aussi relever un calibre sur l'épure, pour les tracer d'un manière plus juste et plus commode.

L'opération la plus difficile est de former la surface conique comprise entre les deux courbes. Comme on peut considérer les surfaces des cônes formées par des circonférences concentriques, qui vont en diminuant en progression arithmétique depuis la base jusqu'au sommet, ou par des lignes droites allant du sommet à la circonférence de leur base, il en résulte qu'il y a deux manières d'opérer.

D'après la première hypothèse, on tracera sur la surface préparatoire indiquée par les lignes droites formant les cordes des courbes D^{11}, E^{11} et 13, 19, des parallèles en

raccordement avec celles tracées dessus et dessous; ensuite on coupera, d'après les circonférences concentriques tracées en plan, autant de cerces qu'il y a de divisions pour former la courbure qui répond à chacune, et on abattra le reste en raccordement : mais cette manière est très-longue et difficile pour la pratique.

L'autre hypothèse fournit un moyen beaucoup plus simple : en se servant des divisions du dessus, on tirera sur la projection en plan, figure 3, par le centre C et les points de division D, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n* et E, des lignes droites jusqu'à la rencontre de la courbe de dessous, et on reportera ces points sur la courbe correspondante du noulet développé pour y tracer ces lignes, sur lesquelles on posera la règle pour abattre le bois d'une courbe à l'autre, et former la surface plus exactement que par l'autre moyen.

Des ouvertures rectangulaires pratiquées dans les combles coniques, pour des lucarnes ou des tuyaux de cheminées.

Si dans un comble conique on pratique une ouverture rectangulaire, telle que A B C D, figure 1, 2; 4, 5; 7, 8, planche CXIX, les côtés A B, et A D qui ne tendent pas au sommet du cône, doivent former des arêtes courbes à la rencontre de la surface conique. Lorsque le comble forme un cône droit, les courbes de ces arêtes sont des portions d'hyperbole. La manière de les tracer est indiquée par les figures 1, 2 et 3 : c'est la même qui a été ci-devant expliquée à l'occasion des toits coniques coupés par un mur d'aplomb, page 230.

Dans les figures 1 et 2, l'ouverture rectangulaire se dirige à l'axe du cône; les montans AB, CD sont fermés par deux empanons qui s'assemblent dans les chevrons E, F, et dans la plate-forme G.

La traverse du haut BC s'assemble dans les chevrons E, F, et celle du bas AD dans les montans BA, CD.

Ces traverses courbes pouvant être considérées comme les liernes des combles coniques ordinaires, se traceront par les procédés ci-devant expliqués, page 227.

Quant aux montans dont les arêtes doivent être des parties d'hyperbole, on a supposé, comme pour les exemples précédens, des divisions horizontales indiquées par les nombres 1, 2, 3, 4 — 13, dans les projections verticale, figure 1, et horizontale, figure 2, par le moyen desquelles on a tracé le profil, figure 3, qui exprime ces hyperboles et les faces des montans.

Dans les figures 4 et 5, un des montans de l'ouverture est formé par un chevron, et l'autre par un empanon qui lui est parallèle. La traverse du haut s'assemble comme dans l'exemple précédent, dans deux chevrons, et celle du bas, d'un côté dans un chevron, et de l'autre, dans l'empanon qui forme l'autre montant. Cette disposition ne présente pas plus de difficulté que pour l'exemple précédent.

Le montant formant empanon a aussi, comme ceux de l'exemple cité, des arêtes courbes qui sont des portions d'hyperbole, dont on a trouvé les points par le même procédé indiqué par les nombres 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13, répétés dans le plan, figure 5, l'élévation, figure 4, et les développemens, figure 6, avec les lignes d'opération.

On a représenté dans les figures 7 et 8, une ouverture disposée irrégulièrement, de manière que les arêtes des montans sont des parties d'hyperbole, et les traverses des parties d'ellipse de différentes courbures.

Les points pour former ces arêtes se trouvent en cherchant la position de chacun dans l'élévation, le plan et le profil ou le développement par le moyen des parallèles, des verticales et des horizontales, tirées de l'élévation sur le plan, et de celui-ci sur le profil, ainsi qu'on le voit indiqué par les fig. 7, 8 et 9 par les mêmes numéros.

Des ouvertures rondes à former dans les combles coniques.

Quelle que soit la courbure de ces ouvertures, on peut imaginer qu'elles sont formées par des solides qui pénètrent le cône selon une direction donnée.

Si les côtés du solide qui forment cette ouverture sont parallèles à son axe, ce sera un cylindre; mais s'ils vont en s'écartant en dedans ou en dehors, le solide sera un cône.

M. Frézier, dans le premier volume de son Traité de la Coupe des Pierres, où il parle des principes de stéréotomie, démontre que les cylindres et les cônes qui se pénètrent perpendiculairement ou obliquement, forment à leur rencontre des courbes à double courbure, qui ne peuvent se décrire que sur les surfaces courbes de l'un de ces solides. M. Frézier distingue ces courbes par une terminaison qu'il tire du mot latin *imbrex*, qui signifie une tuile creuse; ainsi il appelle *cycloimbre* l'espèce de cercle courbé formé sur la surface

d'un cylindre par un autre plus petit qui le pénètre, de manière que leurs axes se croisent perpendiculairement.

Lorsque les axes de ces cylindres se rencontrent obliquement, il en résulte une ellipse aussi courbée, qu'il désigne sous le nom d'*ellipsimbre*. Il appelle *ellipsoidimbre*, l'espèce d'ellipse courbée, formée par la pénétration d'un cône dans un cylindre ou de deux cônes, soit que leurs axes se rencontrent perpendiculairement ou obliquement, parce que cette courbe diffère de l'ellipsimbre, qui résulte de la rencontre oblique de deux cylindres dont les surfaces sont formées de lignes parallèles à l'axe, tandis que celle des cônes est formée par des lignes qui tendent toutes à un même point, ce qui diminue ou augmente les largeurs ou ordonnées de l'ellipse courbe, qu'il distingue par le mot d'*ellipsoidimbre*.

Si l'on trace avec un compas un cercle sur la surface d'un cône ou d'un cylindre, la courbe ne sera ni un cercle ni un cicloïmbre, car le diamètre qui se trouve dans le sens où la surface de ces solides est droite, sera plus grand que celui qui lui serait perpendiculaire, parce que ce dernier étant dans le sens de la courbure, sera composé de deux rayons qui sont les cordes de la moitié de l'arc répondant à ce diamètre et formant une ligne brisée, tandis que l'autre diamètre est composé de deux rayons qui forment une ligne droite; cette courbe pourrait être désignée sous le nom de *cycloidimbre*.

Le procédé pour tracer chacune de ces courbes sur la surface des cônes ou des cylindres pénétrés, ainsi que leur

développement et leur projection sur des plans verticaux où horizontaux est le même.

Lorsque le cylindre ou le cône qui forme le vide d'une ouverture dans un comble conique, planches CXX et CXXI, rencontre perpendiculairement l'axe de ce comble, la forme primitive doit se tracer sur un plan vertical, perpendiculaire à la direction du cône ou du cylindre qui forme le vide de l'ouverture, figures 1, 5; mais, si cet axe est parallèle à celui du comble conique, la forme primitive sera exprimée sur le plan ou projection horizontale, figure 9. Cette forme étant représentée sur l'une de ces projections, ainsi que la position des pièces de bois qui doivent la former, on la tracera sur l'autre, au moyen des verticales élevées ou abaissées des points de la figure primitive, et des horizontales tirées des points correspondans du profil, et renvoyés sur cette projection par des arcs de cercle, qui donneront par leur intersection, les points nécessaires pour tracer la forme secondaire de l'ouverture, fig. 2, 6 et 10.

Pour les développemens, on prendra les longueurs ou distances de la base sur le profil, et les largeurs sur le plan, qu'on indiquera par des lignes droites tirées au sommet du développement du cône, et par des arcs de cercle concentriques, dont les intersections donneront les points nécessaires pour tracer sur ce développement l'ouverture et les pièces dont elles se composent, figures 3, 7 et 11.

Dans les figures A, 1, 2, 3 et 4, on a supposé que l'axe du cylindre ou cône horizontal, qui forme l'ouverture, rencontre celui du comble conique perpendiculairement.

Dans les fig. B, 5, 6, 7 et 8, le cylindre ou le cône formant l'ouverture, est de même horizontal, mais son axe ne passe pas par celui du comble conique.

Les figures C, 9, 10, 11 et 12 représentent une ouverture formée par un cylindre ou un cône vertical dans le comble conique.

Les figures 4, 8 et 12 indiquent le profil de l'ouverture coupé par un plan vertical, désigné dans chaque figure par les lignes 1 et 8; il faut remarquer que pour les figures 5, 6, 7 et 8, le plan vertical de la coupe ne passe pas par l'axe du comble conique.

On a indiqué dans toutes les figures de ces deux planches, les points correspondans par les mêmes chiffres et les mêmes lettres, afin qu'on puisse suivre les opérations en partant des figures primitives 1, 5 et 9.

L'exécution des pièces qui forment les trois espèces d'ouvertures exprimées dans ces planches, peut se faire d'après les développemens, figures 3, 7 et 11.

Les traverses ou entre-toises B C, DE, se traceront par les procédés indiqués ci-devant pour les liernes, page 227.

Les montans sont formés par des chevrons un peu plus forts, portant un bossage dans le milieu, ainsi que les traverses pour servir de buttée aux liens ou écoinçons qui remplissent les angles et forment la courbure de l'ouverture.

Le meilleur moyen, le plus facile et le moins dispendieux pour former ces pièces qui sont cintrées en plan et en élévation, est d'ajuster en dessus et en dessous des courbes en planches chantournées selon les cercles du haut et du bas, passant par leurs extrémités. Après avoir formé

les surfaces coniques, intérieures et extérieures, on tracera en dedans et en dehors, d'après le développement, les parties de courbes qui doivent former l'ouverture; on abattra ensuite le bois d'une courbe à l'autre, pour former la surface d'épaisseur, et on finira par faire les assemblages à tenons et mortaises, ainsi qu'on le voit indiqué par les figures 13, 14 et 15, qui représentent une de ces courbes pour chaque exemple exprimé dans ces deux planches.

Les opérations indiquées par ces deux planches ne diffèrent qu'en ce que, dans la planche CXX, les ouvertures étant censées faites par des cylindres, les surfaces courbes qui forment l'épaisseur de ces ouvertures sont indiquées par des lignes droites parallèles à l'axe des cylindres, tandis que dans la planche CXXI, les ouvertures étant formées par des cônes, ces surfaces d'épaisseur sont indiquées par des lignes qui tendent au sommet du cône. D'ailleurs, comme les opérations se font par le même procédé, on n'a donné qu'une explication pour les figures de ces deux planches, qui convient également à l'une et à l'autre, en prenant le mot cylindre au lieu de cône, ou celui de cône au lieu de cylindre.

Des combles dont les surfaces sont courbes sur la hauteur et droites selon leur longueur.

Ces combles présentent à l'extérieur, l'apparence des voûtes en berceau extradossées. La courbure ou cintre qui forme leurs surfaces extérieures, peut être circulaire, elliptique, ou formée d'une courbe quelconque; enfin, il s'en trouve dont la courbe est à double in-

flexion, appelés combles en impériale. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 de la planche CXXII indiquent le profil de ces différens combles; elles font voir qu'ils peuvent se composer de fermes comme les combles ordinaires, dont elles ne diffèrent que par les chevrons courbes.

Lorsque les combles n'ont pas beaucoup de largeur, et qu'on donne une plus forte épaisseur aux chevrons formant courbes, on peut se passer des arbalétriers et des jambes de force, en ne conservant qu'un faux entrait à l'endroit où les courbes du haut et du bas se réunissent, figure 6.

Dans les combles formés en arc gothique, figure 4, cette suite d'entraits pourrait former un plancher qui donnerait en dessous un étage en mansarde, et en dessus un grenier sans poinçons.

Il faut remarquer que la courbure des chevrons leur donne plus de roideur, en sorte qu'ils peuvent avoir une plus grande portée, sans avoir besoin d'être soutenus par des pannes; mais si on veut ne leur donner que peu de longueur, au lieu de pannes on peut assembler les chevrons dans les liernes de même épaisseur, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 7.

Quant aux courbes des arêtiers, des noues ou des noulets formées par la rencontre des surfaces de ces combles, il ne s'agit que de chercher leur rallongement d'après le cintre primitif, en divisant les parties de base correspondantes en un même nombre de parties égales, et portant sur les perpendiculaires élevées des points de division les ordonnées de la courbe primitive, comme on le voit par les figures 8 et 9.

Lorsque la ligne de projection qui sert de base à ces courbes est aussi une courbe, comme I K L, figure 9, elle indique un plan vertical de même courbure, sur lequel il faut tracer la courbe en élévation ; mais comme la pièce de bois qui doit former cette courbe ne contient souvent qu'une très-petite partie de ce plan, on prend pour base une ligne I L, qui passe par les deux extrémités de la pièce, ainsi qu'on le voit par la figure 10.

Après avoir divisé cette ligne en un même nombre de parties que la corde de la courbe de projection, on tirera des perpendiculaires, sur lesquelles on portera les ordonnées de cette courbe, pour former celle de rallongement qui servira à tracer le dessus et le dessous de la pièce de bois, pour former la surface courbe sur laquelle doit être décrite la courbe d'élévation.

Cette surface étant formée, on y tracera des parallèles correspondantes aux ordonnées de la courbe d'élévation tracée sur l'épure ; on portera sur ces parallèles, les hauteurs des ordonnées à partir de la ligne I C, qui forme la base par rapport à la pièce de bois, et par les points qu'elles donneront, on tracera la courbe d'élévation.

Après avoir tracé cette courbe sur la face opposée par le même procédé, on portera sur chaque division la plus grande hauteur que donne la pente de la partie de surface de ce comble dont cette pièce doit faire partie, comme on le voit par la figure 10.

Lorsque la courbe de réunion des surfaces se trouve dans le milieu de la largeur de la pièce, après l'avoir tracée sur chaque face, on portera sur les parallèles au-dessous

si c'est un arêtier, et au-dessus, si c'est une noue, ce que peut donner la partie de pente que forme chaque demi-largeur, comme il est indiqué par les figures 9 et 10.

REMARQUE.

Il est bon d'observer qu'en charpente ou en menuiserie, il faut quelquefois, comme dans la coupe des pierres, former des surfaces préparatoires, pour parvenir à tracer les arêtes qui doivent terminer leurs véritables surfaces. Ces arêtes ne suffisent pas toujours; il faut de plus connaître la nature de celles à former, la direction des lignes droites ou courbes dont elles se composent, afin de pouvoir les faire avec l'exactitude et la régularité convenables.

Les surfaces des combles dont il vient d'être question peuvent être considérées comme composées d'une infinité de lignes droites parallèles, selon leur longueur, qui réunissent les courbes formant leur largeur, ainsi qu'on le voit indiqué par les figures 12 et 13.

Lorsque les murs qui doivent soutenir un comble de ce genre ne sont pas parallèles, les courbes qui forment leur profil sur la largeur, changent à chaque point, comme cette largeur; dans ce cas, les lignes droites qui vont d'une courbe à l'autre ne sont pas parallèles dans la projection en plan, figure 14, quoiqu'elles soient toutes de niveau dans l'élévation sur la longueur, fig. 15.

Cette formation de superficie courbe par des lignes droites, qui passent par les points des courbes qui expriment leur profil sur la largeur, donne un moyen

fort simple pour l'exécution des courbes qui doivent former les chevrons, empanons, arêtiers, noues et noulets, qui peuvent se trouver dans la composition de ces espèces de combles; il ne faut pour cela qu'un profil qui indique la courbe primitive, divisée en parties égales par des perpendiculaires à la base, et diviser les bases de chacune de ces pièces en un nombre de parties correspondantes par des perpendiculaires, sur lesquelles on portera les hauteurs, prises sur la courbe primitive, ainsi qu'on le voit indiqué par les figures 16 et 17.

Des combles dont la surface est courbe en plan et en élévation.

Presque tous les combles de ce genre, tels que les dômes, sont garnis à l'intérieur de fermes comme les combles à simple courbure, dont il vient d'être question. Ces fermes sont combinées de manière à soutenir les pannes, les liernes et les chevrons courbes qui forment le galbe extérieur.

Premier exemple.

Dôme des Invalides.

Les figures de la planche CXXIII représentent la charpente du dôme des Invalides de Paris, composée de deux grandes fermes, figure 1, qui se croisent à angle droit au milieu, où elles se réunissent à un double poinçon. L'espace entre ces fermes est rempli par

huit demi-fermes moyennes et par quatre petites. Toutes ces fermes sont entretenues dans leur hauteur par quatre enrayures. La figure 2 représente celle du bas, et la figure 3 la grande enrayure au-dessus des jambes de force.

Deuxième exemple.

Dôme du Val-de-Grâce.

La charpente de ce dôme est représentée par les figures de 4 à 13, sur la même planche, avec les différentes enrayures, qui servent à relier les seize demi-fermes qui soutiennent les chevrons et les pannes formant le galbe extérieur du dôme.

La fig. 4 fait voir la combinaison des quatre grandes demi-fermes, qui se croisent au centre.

La figure 5 indique les douze autres demi-fermes intermédiaires.

La grande enrayure du bas, désignée par la ligne A B sur la coupe, est indiquée par la figure 6.

La seconde enrayure, désignée par la ligne C D, est représentée par la figure 7.

La figure 8 indique la troisième enrayure, répondant à la ligne E F de la coupe.

La quatrième enrayure, fig. 9, répond à la ligne G H de la coupe.

La cinquième enrayure, répondant à la ligne K I de la coupe, est indiquée par la figure 10.

La sixième, répondant à L M, par la figure 11.

La septième, répondant à N O, par la figure 12.

La huitième, répondant à P Q, par la figure 13.

Ces deux combinaisons de charpente peuvent donner une idée de celles des autres dômes de ce genre qui approchent plus ou moins de l'une ou de l'autre.

Troisième exemple, *planche CXXIV.*

La figure 1 présente une combinaison de fermes pour un dôme tiré de Mathurin Jousse, qui passe pour le premier auteur qui ait traité de la charpente.

Cette charpente forme à l'intérieur une voûte sphérique; à l'extérieur le dôme est surmonté d'une lanterne percée de huit arcades, couronné d'une petite coupole composée de huit courbes assemblées dans un poinçon formant clef pendante en dedans, et aiguille à l'extérieur.

La charpente du dôme est composée de huit demi-fermes, qui s'assemblent dans les poteaux de la lanterne qui leur servent de poinçons; elles sont reliées entre elles par des liernes courbes, dans lesquelles s'assemblent les chevrons qui doivent former les surfaces courbes du dôme et de la voûte; cette combinaison me paraît fort bien entendue pour un dôme de ce genre, de 36 à 40 pieds de diamètre.

La figure 2 indique la projection en plan.

Quatrième exemple.

Les fig. 3 et 4 de la même planche représentent une combinaison de charpente tirée de l'ouvrage de Nicolas Fourneau, troisième partie, planche 30; elle est faite pour un dôme d'environ quarante pieds de diamètre. Cette charpente est formée de deux grandes fermes semblables, qui se croisent au milieu, à angles droits,

et de huit autres fermes intermédiaires qui peuvent être moins compliquées; ces dernières s'assemblent, dans des poteaux qui forment le soubassement de la lanterne, terminée par un piédouche au-dessus duquel s'élève une flèche. Cette charpente, beaucoup plus compliquée que la précédente, est imitée de celle des Invalides.

Cinquième exemple, *planche CXXV.*

La charpente représentée par les figures de cette planche est tirée du recueil de M. Krafft, deuxième partie, planche 70. Cette combinaison est de M. Stierme, dont il a été ci-devant parlé page 214; elle est faite pour un dôme de 58 pieds de diamètre sur 32 pieds de haut.

On voit que cette charpente est formée de deux fermes principales qui se croisent au milieu, comme dans l'exemple précédent, et de douze demi-fermes intermédiaires qui se réunissent à l'enrayure qui porte la lanterne.

Sur une moitié de la grande ferme, figure 1, on voit des lignes d'opérations ponctuées, qui indiquent les ystème suivi par M. Stierme pour la combinaison des pièces dont cette ferme est composée. Nous allons tâcher de suppléer à l'explication incomplète qui se trouve dans le recueil de M. Krafft.

Il paraît que M. Stierme commence par faire un carré A B C D avec la hauteur déterminée A B.

L'intersection des diagonales de ce carré lui donne le rayon A *g* de la coupole intérieure, qu'il fait parfaitement hémisphérique.

La hauteur du dessus de l'entrait S R de la seconde enrayure, est déterminée par la diagonale A *k*, tirée du point où la verticale *b k* rencontre la ligne B C.

L'arbalétrier V au-dessus, se dirige au point *e*, milieu de C D.

La position du double arbalétrier V^1 qui lui est parallèle, est déterminée par la diagonale A *m*, à l'endroit où elle coupe l'entrait.

Les jambes de force sont tangentes à la courbe de la coupole intérieure; elles sont reliées avec l'entrait R par deux esseliers, dont le plus grand, marqué T, est aussi tangent à la courbe de la coupole intérieure.

Les chevrons, formant le galbe extérieur du dôme, sont assemblés dans cinq rangs de liernes, indépendamment de la sablière du bas et de celle du haut, formant enrayure pour l'établissement de la lanterne. La partie de courbe inférieure répondant aux jambes de force, est soutenue par deux entre-toises assemblées d'un bout dans la courbe et de l'autre dans la jambe de force.

Les chevrons ou courbes qui forment la surface de la coupole intérieure sont entretenus par cinq rangs de liernes, en y comprenant la sablière.

Une moitié du plan et de la coupe de ce dôme indique des courbes en planches au lieu de chevrons, pour former le galbe extérieur et la surface de la voûte intérieure; mais il serait facile de démontrer que ce changement, qui formerait un ouvrage moins solide, ne produirait pas beaucoup d'économie.

La hauteur du corps de la lanterne, jusque sous l'entablement, est déterminée par la diagonale *e m* pro-

longée jusqu'à la ligne du milieu. Le piédouche et l'espèce de poire qui servent d'amortissement à cette lanterne, ne produiraient pas un bon effet. Au reste, la combinaison des pièces de bois qui forment cette charpente est bonne et assez bien entendue.

Des combles à surfaces courbes formés par des planches posées en liaison les unes sur les autres.

Philibert de Lorme, célèbre architecte, publia, en 1561, un ouvrage sur cette manière de construire les combles, dont il se dit l'inventeur. Il existe cependant des constructions de ce genre beaucoup plus anciennes que cet architecte, telles que les dômes de l'église de Saint-Marc de Venise et de plusieurs autres qui se trouvent dans cette même ville; un des plus remarquables est celui de *Santa Maria della Salute.*

La manière de former des courbes avec des planches remonte à la plus haute antiquité; Vitruve en parle au troisième chapitre du septième livre de son Traité d'Architecture.

Serlio, qui vivait avant Philibert de Lorme, rapporte qu'ayant été chargé par François Ier., de faire quelques réparations au Palais des Tournelles (1), il y trouva des voûtes formées de courbes en planches recouvertes d'un enduit de plâtre fort dur, qui avait plus de deux cents ans d'ancienneté.

Les anciens Romains, qui construisaient leurs voûtes en blocages et en briques, formaient leurs cintres avec

(1) Architecture de Serlio, liv. VII, chap. 41.

des courbes en planches doubles ou triples, en raison du diamètre des voûtes. Cet usage s'est perpétué en Italie et dans tous les endroits où l'on construit des voûtes en moellons ou en briques maçonnés en mortier. On a quelquefois employé des cercles de bois construits de cette manière, pour retenir la poussée des voûtes en briques. On lit dans les Mémoires historiques de Poleni sur la coupole de Saint-Pierre de Rome, qu'en 1729 une des calottes de l'église de Saint-Marc de Venise menaçait de tomber, à cause d'une grande lézarde qui s'était formée dans sa partie inférieure et qui se réunissait avec d'autres dans la hauteur. Le péril imminent que présentait cette coupole, obligea de l'étayer par une charpente montant de fond : lorsqu'on voulut la réparer, on trouva que cette coupole avait été établie sur un cercle de bois de larix, formé de planches en liaison les unes sur les autres, qui étaient pourries et réduites en poussière; on remplaça ce cercle par une assise de pierres, en ôtant successivement les parties de bois que chaque pierre devoit remplacer, et on termina cette opération en posant à l'extérieur de cette assise un fort cercle de fer.

Coupole de l'église de Saint-Marc de Venise,
planche CXXV.

La figure 3 représente la coupe d'une de ces coupoles, qui ne diffèrent les unes des autres que par leur diamètre; cette coupe fait voir la charpente formant le dôme extérieur et la voûte hémisphérique au-dessous, qui est en maçonnerie de briques.

La forme de ces dômes est surhaussée, afin de les rendre plus apparens à l'extérieur. La partie inférieure, qui est droite et cylindrique, est formée par des poteaux debout, espacés d'environ deux pieds de milieu en milieu, assemblés par le bas dans une enrayure circulaire, composée de pièces de bois qui se doublent, et par le haut dans un cercle de même.

La partie supérieure, qui est hémisphérique, est composée de courbes en fortes planches doubles qui forment chevrons; elles sont espacées par le bas comme les poteaux de dessous, et reliées dans leur hauteur par quatre rangs de liernes, dans lesquels elles sont entaillées. L'extérieur est garni en planches revêtues de plomb, avec des cordons et des recouvremens pour éviter les soudures.

Cette coupole est surmontée par une espèce de lanterne d'une forme singulière. Le bas est en petites colonnes de bois accouplées avec des arcades soutenant une petite coupole en impériale, terminée par une très-grande croix, dont la tige, formant poinçon, descend jusque sur le sommet de la grande coupole.

L'intérieur de cette coupole est garni d'une charpente indépendante de celle qui forme le galbe extérieur du dôme; elle paraît avoir été faite après coup pour la fortifier. Cette charpente est composée de deux rangs d'entraits qui se croisent au centre à angle droit, et qui se moisent avec de grandes pièces posées en contrefiche, pour étayer le sommet de ces coupoles au-dessous de la lanterne. Ces entraits ne portent pas sur la charpente légère qui forme le galbe extérieur, mais sur des pièces de bois qui partent de la première enrayure, posée sur

les reins de la coupole intérieure, qui est en maçonnerie de briques.

Au centre, où les seconds entraits se croisent, est établi un fort poinçon répondant à celui de dessus, qui forme la tige de la croix. Ce croisement est soutenu en dessous par six contrefiches, qui descendent aussi jusque sur la première enrayure. Sur ce milieu ainsi consolidé, on a placé des pièces inclinées en sens contraire, qui se réunissent avec les grandes contrefiches pour soutenir la partie de la grande coupole où posent les colonnes de la lanterne.

La disposition de ces contrefiches formant deux espèces de cônes opposés, qui se réunissent sous le milieu du second entrait, nous paraît fort bien imaginée pour soutenir le poids considérable de la lanterne toute recouverte en plomb, qui paraît avoir été la cause de cet étayement, fait pour venir au secours du sommet de la coupole qui avait fléchi ; d'ailleurs, la grande portée des pièces de bois qui le composent ne le rendent pas susceptible d'une grande résistance.

La plus considérable des coupoles, par rapport à son élévation et à la grandeur de la lanterne, est celle du centre : son diamètre extérieur est de 47 pieds 1 pouce, et sa hauteur au-dessus de la ligne A B, de 66 pieds 4 pouces, sans y comprendre la croix.

Le diamètre extérieur de celle de la nef d'entrée est de 48 pieds 1 pouce 6 lignes, et sa hauteur, prise de même, de 58 pieds 10 pouces, et la lanterne est beaucoup moins considérable.

Le diamètre des autres coupoles varie de 40 à 40 pieds 6 pouces, et leur hauteur est d'environ 35 pieds.

Dans ces quatres coupoles, l'enrayure formée par le premier entrait est supprimée.

L'église de Saint-Marc fut commencée en 976, et finie en 1085; ainsi les charpentes de ces dômes peuvent avoir 800 ans d'ancienneté. On trouve dans les vies des peintres, sculpteurs et architectes, de George Vasari, que ce fut Jacques Sansovin qui fit faire ces étayemens vers l'an 1530, sous la principauté d'André Gritti.

Coupole de l'église de la Salute à Venise, planche CXXVI.

Cette coupole est formée, à l'intérieur, par une voûte hémisphérique en briques, indiquée par A B sur la coupe, fig. 1, dont le diamètre est de 65 pieds 6 pouces. Cette voûte est percée au sommet d'une ouverture d'environ 12 pieds de diamètre. Au-dessus s'élève une lanterne en charpente revêtue de plomb. Le galbe extérieur de cette coupole est formé par des courbes composées de quatre épaisseurs de planches posées en liaison les unes sur les autres, et unies ensemble avec des clous. Ces courbes, indiquées dans le plan et l'élévation par la lettre *d*, forment des chevrons de 5 pouces quatre lignes d'épaisseur, espacés par le bas de vingt et un pouces. Ces espèces de chevrons, dont le nombre est 96, posent au-dessus de la corniche de l'attique, où ils sont arrêtés par une entaille pratiquée sur la corniche en pierre, et par un cercle horizontal, formé de quatre épaisseurs de planches clouées, marqué *b* sur la coupe, et sur le plan, fig. 4.

Ces courbes s'assemblent par le haut dans une sablière, marquée X V dans la coupe, soutenue par huit colonnes placées autour de l'ouverture de la voûte en briques.

Pour fortifier la partie de coupole en bois autour de cette sablière, on a rempli l'intervalle des courbes par des planches de champ ; ce qui forme une voûte pleine, capable de porter les balustrades, les terrasses et les huit éperons, terminés par de petits obélisques, qui servent de décoration à la lanterne, indiqués dans les parties de plan par les chiffres 7, 8 et 9, pris sur les lignes E F, G H et I K de la coupe fig. 2. Cette partie de coupole en bois est encore soutenue par huit poteaux et une cloison circulaire, marqués *f*, *g* dans la coupe et dans la partie de plan N°. 4, qui portent sur les bords renforcés de l'ouverture de la voûte en briques. Les courbes en planches qui forment le galbe extérieur sont entretenues, au tiers de leur hauteur, par un cercle de fer de 4 pouces 6 lignes de large sur 6 lignes d'épaisseur, arrêté par un boulon sur chaque courbe. La couverture de cette coupole est en plomb, posé sur des voliges clouées sur les courbes. Les joints montans sont recouverts par les bourrelets faisant côtes saillantes au droit de chaque courbe, ainsi qu'on le voit indiqué sur la partie de plan, N°. 9.

La partie de plan N°. 10 représente l'enrayure de la petite coupole qui couvre la lanterne.

Les N°s. 11 et 12 indiquent les courbes en planches qui forment le galbe de cette coupole. Le N°. 13 indique la couverture en plomb avec des côtes sur les joints montans, répondant à chaque courbe comme à la grande coupole. Cette lanterne est terminée par une figure de la Vierge. Les détails de cette coupole furent envoyés à M. Soufflot, en 1775, par M. Raymond, architecte, membre de l'Institut. En 1783, je les ai vérifiés pendant

mon séjour à Venise, et je les ai trouvés fort exacts. Dans le temps que M. Soufflot reçut ces détails, il me chargea de faire un parallèle de cette charpente avec celle du dôme des Invalides, dont j'ai donné les détails dans la planche CXXIII, et que je levai à ce sujet. Ayant fait un toisé exact de toutes les pièces de bois dont ces coupoles sont composées, je trouvai que la quantité de bois employée au dôme des Invalides était de 19452 pieds cubes, ou 6484 pièces, et celle employée au dôme de la Salute de Venise de 4108 pieds cubes, équivalant à 1369 pièces.

Considérant ensuite qu'à combinaison égale la quantité de bois devrait être proportionnelle à la superficie de la coupe de ces dômes qui représente une des fermes principales, je trouvai que le diamètre extérieur de la coupole des Invalides, par le bas, était de 84 pieds sur 53 pieds de hauteur, depuis le dessus du soc de l'attique jusqu'à la première enrayure de la lanterne. La hauteur de cette lanterne est de 45 pieds depuis le dessus du dôme jusqu'au bas de l'obélisque qui soutient la croix, sur une largeur moyenne de 21 pieds; ce qui donne pour la superficie de la coupe *k* 180 pieds carrés.

La coupole de l'église de la Salute a, par le bas, 75 pieds 6 pouces de diamètre, sur 38 pieds de hauteur. La superficie de la coupe, en y comprenant la lanterne qui a 37 pieds de haut, jusqu'au-dessus du piédouche qui porte la statue de la Vierge, est de 2908 pieds carrés: cela posé, si l'on prend pour premier terme de comparaison la charpente du dôme des Invalides, on aura 4180 : 6484 : : 2908 est à un quatrième terme, qui donnera pour le dôme de la Salute 4510 pièces de bois au lieu de 1369; ainsi, par le système adopté pour cette

coupole, on a épargné 3141 pièces de bois qui auraient chargé l'édifice d'un poids de plus de six cent milliers.

Mais si l'on prend la charpente du dôme de la Salute pour premier terme de la proportion, on aura 2908 : 1369 :: 4180 est à un quatrième terme, qui donnera, pour le dôme des Invalides, un peu moins de 1968 pièces, au lieu de 6484; ainsi, en adoptant pour ce dôme le système de celui de la salute, on aurait épargné 4516 pièces de bois, qui chargent inutilement cet édifice d'un poids de près de neuf cent milliers. M. Soufflot, désirant connaître l'économie que ce moyen aurait pu produire sur la dépense, je fis le détail ci-après :

Chaque courbe du dôme de la Salute comprend une circonférence de 50 pieds; elles sont composées de quatre épaisseurs de planches de chacune 16 lignes sur 8 pouces 6 lignes de large : en se servant de planches de sapin de 12 pieds de longueur, il en faudrait 17 pour chaque courbe, et pour 96. 1632

Pour le cercle qui maintient les courbes par le bas. 126

Pour la cloison circulaire derrière les colonnes du bas de la lanterne 128

Pour les courbes de la coupole de la lanterne 54

Pour le cercle qui les retient par le bas . . . 6

TOTAL . . . 1946

Les voliges qui recouvrent les courbes et les bâtis de charpente, pour la décoration de la lanterne de 7 pieds

et demi de long sur six pouces réduits, de largeur pour le grand dôme 2288

Pour les colonnes	72
Pour les décorations de la lanterne.	450
Pour la couverture	72
TOTAL	2882

La charpente, réduite en pièces de bois, produit 382 pieds 4 pouces.

RÉSUMÉ.

1946 planches formant ensemble une superficie de 648 toises $\frac{2}{3}$, à 24 francs.	15568 fr.
2882 voliges faisant une superficie de 300 toises à 18 francs.	5409
382 pièces $\frac{2}{3}$ à 10 francs.	3827
Dépense présumée de la charpente de la coupole de la Salute.	24795 fr.

sans y comprendre les plombs pour la couverture et les revêtemens.

Divisant cette somme par la quantité de 1369 pièces que produit la totalité des bois dont elle est composée, on trouve, pour la valeur de chaque pièce, un peu plus de 18 francs; ce serait aussi le prix moyen de chaque pièce pour la charpente du dôme des Invalides. Ainsi, les 6484 pièces de bois que produit cette charpente, étant évaluées à raison de 18 francs, portent la dépense à

116712 francs. Mais nous avons trouvé ci-devant que si cette coupole eût été faite dans le système de celle de la Salute, elle n'aurait produit que 1968 pièces, lesquelles, évaluées au prix moyen de 18 francs, donneraient une somme de 35424 francs au lieu de 116712; et si, au lieu de planches de sapin on eût formé ces courbes avec quatre épaisseurs de madriers de chêne de 18 lignes, ajustés en liaison les uns sur les autres et arrêtés avec des boulons de fer à vis, et qu'on eût entretenu ces courbes dans leur hauteur par cinq ou six rangs de liernes formant cercle, composé de deux rangs de madriers de deux pouces d'épaisseur, posés en liaison et réunis comme les courbes verticales; cette coupole, qui aurait eu la plus grande solidité, n'aurait pas coûté plus de 50000 francs, c'est-à-dire moins de la moitié de celle qui existe.

Invention de Philibert de Lorme.

Nous avons fait voir que, long-temps avant cet architecte, on a fait des courbes en planches clouées les unes sur les autres pour former des voûtes ou des cintres; mais il est le premier qui en ait fait l'application aux combles, et qui ait imaginé de relier ces courbes avec des liernes qui les traversent, et de les serrer avec des clefs pour les maintenir et leur donner plus de fermeté. Les détails qu'il en donne dans son livre, intitulé : *Nouvelles inventions pour bien bâtir à petits frais*, publié en 1561, sont clairs, méthodiques et biens entendus; ils sont également applicables aux voûtes, aux cintres et aux combles. Comme son moyen est uniforme il suffit d'un seul exemple pour en donner l'intelligence.

Formation des combles à surfaces courbes, planche CXXVIII.

Il faut commencer par tracer sur l'épure le trait de la courbe que l'on veut exécuter; on appliquera dessus un premier rang de planches : si c'est pour un comble dont le dessous ne doit pas former voûte, ou pour un cintre, on placera les planches en dessous de la courbe tracée; si c'est pour une voûte qui n'a pas besoin d'être extradossée, on les placera en dehors, de manière cependant qu'on puisse tracer dessus la courbe qu'elles doivent former, ainsi qu'on le voit par les figures 1 et 2. Si les combles ou voûtes doivent être courbes en dessus et en dessous, il faut que les planches recouvrent les deux courbes de l'épure, afin de pouvoir les tracer sur ces planches pour les chantourner, fig. 3.

Philibert de Lorme fixe la longueur de ces planches pour toutes sortes de courbes à quatre pieds; mais nous pensons que, lorsque la courbe est une demi-circonférence ou un arc de cercle dont la courbure est uniforme, il ne faut pas s'astreindre rigoureusement à cette mesure; il vaut mieux en prendre une un peu plus ou un peu moins longue, qui divise la courbe en un nombre quelconque de parties égales. Cette longueur peut même varier pour chaque division, dans l'ellipse dont la courbure n'est pas uniforme, afin que les fibres des planches puissent se croiser : ce qui donne plus de roideur aux courbes et empêche les planches de se fendre; il est facile de voir, fig. 3, que moins il y a de courbure, plus il faudra de longueur pour obtenir cet avantage, et que

les planches qui doivent former les parties A C, B D, n'ont pas besoin d'avoir autant de longueur que celle du milieu C D. Lorsqu'on aura arrêté la division qui paraîtra la plus convenable, on tirera des perpendiculaires à la courbe pour indiquer les joints des planches. Lorsqu'elles seront bien ajustées, on posera dessus un second rang, disposé de manière que les joints des planches qui forment ce second rang tombent au milieu de celles qui forment le premier rang; il faut pour cela que les planches des extrémités n'aient que la moitié de la longueur des autres, ou qu'elles puissent avoir une fois et demie cette longueur, fig. 5.

Ces deux rangs ajustés, on les réunit avec des chevilles de bois indiquées par les chiffres 1 — 10, dans les fig. 1, 2 et 3. On percera ensuite les mortaises pour recevoir les liernes ou tringles de bois qui les traversent, afin d'entretenir les fermes les unes avec les autres. Philibert de Lorme donne à ces liernes la même épaisseur qu'aux planches des courbes, et à leur largeur quatre fois cette épaisseur. Enfin, pour procurer à cet ouvrage la plus grande fermeté, on perce dans ces liernes d'autres mortaises de chaque côté de l'épaisseur des courbes, pour y faire entrer de force des clefs de bois, dont l'épaisseur est la même que celle des liernes sur une largeur double de cette épaisseur; quant à leur longueur, elle doit être égale à la largeur des courbes. Tout cet arrangement est indiqué par les figures 5 et 6.

Le plan, fig. 10, fait voir que ces liernes ne forment pas continuité dans la longueur du comble; elles ne réunissent que trois courbes : cependant, comme chaque rang commence et finit à une courbe différente, cet ar-

rangement équivaut en partie à des liernes continues, surtout lorsque le dessus doit être latté pour recevoir des tuiles ou ardoises, ou bien le dessous pour former un plafond. Serlio cite une voûte en courbe de planches, qui n'étaient réunies que par des cannes revêtues en plâtre, qui était encore très-solide, quoiqu'elle fût construite depuis 300 ans environ; et une autre, construite de même, qui avait résisté à un très-grand incendie.

Nous pensons qu'au lieu des liernes qui traversent ces courbes, il vaudrait mieux les placer dessus et dessous, en les entaillant à moitié bois et les clouant sur chaque courbe, fig. 7; ce qui produirait autant de solidité avec moins d'ajustement et de dépense. D'ailleurs les bois étant sujets à augmenter de grosseur par l'humidité et à diminuer dans la sécheresse, les liernes et les clefs de bois qu'on fait entrer de force dans les mortaises, peuvent, dans un temps humide, faire fendre les planches des courbes et les liernes, et rendre leur assemblage trop lâche dans les temps de sécheresse.

Philibert de Lorme avait employé ce dernier moyen pour le grand comble du château de la Muette, qui avait 10 toises de largeur dans œuvre; il est facile de voir, par les fig. 6 et 8, qu'il aurait pu supprimer les liernes qui traversent les courbes.

Pour les combles de 4 toises de diamètre, Philibert de Lorme fixe la largeur des planches qui forment les courbes à 8 pouces de largeur, et leur épaisseur à un pouce.

Pour 6 toises, il donne aux planches 10 pouces de largeur sur un pouce et demi d'épaisseur.

Pour 10 toises, il fixe la largeur des planches à 13 pouces et leur épaisseur à 2 pouces.

Pour 15 toises, il donne 2 pouces et demie d'épaisseur et 3 pouces pour 18 toises.

Pour établir ces combles, on formait, à trois pieds du dessus de l'entablement des murs de face, une retraite de la moitié de leur épaisseur, sur laquelle on posait une sablière de 8 à 9 pouces d'épaisseur. On creusait dans cette pièce des entailles de deux pieds en deux pieds, pour recevoir le pied des chevrons. Le prolongement de la surface du comble, jusqu'au nu extérieur du mur de face, se faisait en ajoutant des bouts de courbes en forme de coyaux, fixés par le bas dans une entaille pratiquée au-dessus de l'assise formant corniche, ainsi qu'on le voit exprimé dans la figure 9.

Les fig. 4 et 5, planche CXXIX, indiquent la manière de tracer des courbes rallongées pour former les arêtiers à l'extérieur et celles qui forment les arêtes rentrantes des voûtes en arc de cloître pratiquées en dessous.

Les figures 1, 2 et 3 représentent les profils de comble, proposés par Philibert de Lorme, pour répondre aux objections qui lui avaient été faites, relativement à la difficulté de bien couvrir avec des tuiles ou des ardoises ordinaires les combles en demi-cercle.

OBSERVATION.

Si l'on considère que les bois débités en planches coûtent le double des bois de charpente, et que la façon des courbes, des liernes, des clefs, avec les ajustemens et le percement de mortaises, est au moins une fois plus cher que la façon des charpentes ordinaires, on trouvera qu'il n'y a point d'économie à préférer les combles en planches aux combles en pièces de bois, plus solides et

plus durables, et moins dangereux dans les cas d'incendie. Il existe dans plusieurs édifices plus anciens que Philibert de Lorme, des combles formés de chevrons de 4 à 5 pouces de gros, fortifiés en dessous par des liens cintrés formant voûte, qui sont encore très-solides et en bon état.

M. Lacase, entrepreneur de charpente à Paris, a trouvé un moyen fort ingénieux de former des courbes pour les combles, avec des solives de 5 et 7 pouces de grosseur, refendues en deux et assemblées à trait de Jupiter. Ces courbes, qui forment un cintre gothique, sont réunies par des liernes et des entretoises. Ce nouveau moyen réunit tous les avantages de la méthode de Philibert de Lorme, avec moins de dépense.

Application de la méthode de M. Lacase à un comble de 30 *pieds de largeur extérieure, planche CXXX.*

Après avoir tiré la ligne de base A B, fig. 1, on portera, sur la perpendiculaire élevée du milieu, la moitié de la largeur prise en dehors, et on tirera les lignes A D, D B; sur le milieu de chacune, on élèvera une perpendiculaire égale au septième de ces lignes, et on fera passer un arc de cercle par les trois points D E B, dont on trouvera le centre en élevant, sur le milieu de la corde D E, une perpendiculaire indéfinie, qui rencontre celle du milieu de la ligne B D, en un point G qui sera le centre cherché.

Les figures 2, 3 et 4 indiquent la manière de faire sur l'épaisseur le trait de Jupiter, serré avec clef, pour l'assemblage des pièces qui forment les courbes et les bouts de tenon sur la largeur qui les empêche de varier.

Ces courbes, qui ont 5 pouces de large et 2 pouces et demi d'épaisseur, sont espacées de 2 pieds et demi, et réunies par des liernes entaillées à moitié bois, placées à 5 pieds de distance l'une de l'autre; les espaces formés par l'intersection des liernes et des courbes sont subdivisées par des entretoises et de fausses courbes, afin de servir de soutien au lattis extérieur pour la couverture, et intérieur pour le lambrissage en plâtre; ce qui donne à cette charpente, que j'ai vue exécutée, une solidité étonnante.

Les figures 5, 6, 7 et 8 font voir les détails de l'assemblage des liernes, des entre-toises et des fausses courbes dont la figure 8 indique le plan.

Il est évident que pour une plus grande largeur de toit, il faudrait donner aux courbes une plus grande épaisseur et une plus grande largeur; en général, pour ce procédé, ainsi que pour celui de Philibert de Lorme, il faut que l'épaisseur des courbes soit d'autant de lignes que le comble a de pieds de largeur sur une largeur double; ainsi, pour un comble à deux pentes de 48 pieds de largeur prise en dehors, il faudrait que l'épaisseur des courbes fût de 48 lignes ou 4 pouces sur 8 pouces de largeur.

On procurerait à ces couvertures encore une plus grande solidité, par les raisons que nous avons expliquées à l'occasion de l'épaisseur des voûtes, livre III, pag. 155, en ne donnant cette largeur de 8 pouces que vers le milieu de la longueur de la courbe, et la réduisant au sommet à 6 pouces et la portant à 10 pouces par le bas, ainsi qu'on le voit représenté par la fig. 9.

ARTICLE IV.

Des cintres, des échafauds et des étayemens.

Presque tout ce que nous avons dit, dans l'article précédent, relativement aux combles dont le profil est formé par des lignes courbes, peut s'appliquer aux cintres.

Les courbes qui servent à former leurs surfaces convexes, se disposent parallèlement lorsqu'il s'agit de former des surfaces cylindriques ou coniques; et pour les surfaces sphériques ou sphéroïdes, comme celles des dômes, elles doivent tendre au centre de la courbe du plan.

Les cintres ont beaucoup de rapport avec les combles dont la surface est courbe en élévation, parce que, dans les uns et les autres, les armatures qui les fortifient sont en dessous.

Ainsi, les fermes représentées par les figures 1, 2, 3 et 4 de la planche CXXII, peuvent également servir pour des cintres comme pour des combles de même profil, en les fortifiant en raison de la grandeur des voûtes qu'ils doivent soutenir et de la manière dont elles doivent être construites, c'est-à-dire en briques ou en moellons, ou en pierres de taille.

On ne fait guère usage de cintre de charpente que pour les voûtes en pierres de taille, dont le poids, étant considérable, exige des cintres très-forts. En construisant des voûtes de cette espèce, d'un grand diamètre, telles que des arches de pont, on a remarqué

que dans celles dont le cintre est un demi-cercle ou une demi-ellipse, lorsqu'on a posé les voussoirs jusqu'à une certaine hauteur, ils compriment le cintre de charpente de manière à faire relever sa partie supérieure qui n'est pas chargée; ce qui change sa forme. Afin d'obvier à cet inconvénient, on est obligé de charger le sommet du cintre d'un poids plus ou moins considérable pour le maintenir à sa hauteur; mais cet expédient n'empêche pas le cintre de se déformer vers les flancs. Cet effet a toujours lieu lorsqu'on néglige de placer un entrait à l'endroit où doit se faire le plus grand effort de la voûte; c'est pourquoi il faut, autant qu'il est possible, préférer les cintres à entrait, tels que ceux représentés par les figures 4, 5, 6 et 7 de la planche CXXXI, aux cintres formés de polygones inscrits les uns dans les autres, comme celui indiqué par la figure 4, parce que ce cintre, n'ayant pas de pièces continues dans le sens horizontal, qui est celui des efforts qui compriment le cintre, ne peut leur résister sans céder un peu au droit de chaque assemblage.

L'art de disposer les pièces de bois qui doivent composer un cintre, de manière qu'il puisse soutenir, sans se déformer, tous les efforts des voussoirs jusqu'à ce que la clef soit posée, et de déterminer leurs dimensions, exige des connaissances qui sont ordinairement au-dessus de la portée des entrepreneurs qui en sont chargés; mais aussi on peut dire que les savans qui se sont occupés de cet objet ne sont pas entrés dans assez de détails pour rendre leur travail utile. Leur théorie est si générale, qu'il est difficile d'en faire l'application à des cas particuliers, parce que faisant abstraction dans leur

formules de la qualité des matériaux et de la manière de les mettre en œuvre, qui peuvent modifier et quelquefois même changer l'état de la question; les résultats qu'on en tire sont souvent plus éloignés de la vérité que les pratiques de ceux qui n'ont que l'expérience.

En étudiant avec la plus grande attention tout ce que MM. Pitot, Couplet, Frézier, et M. Lorgna de Vérone, ont écrit à ce sujet, j'ai trouvé qu'il résultait de leur théorie, que toutes les pièces de bois qui composent un cintre de charpente, doivent se combiner de manière à soutenir, le plus avantageusement possible, l'effort que les pierres ou voussoirs font pour glisser sur leurs joints.

Comme les surfaces des pierres ne sont pas assez lisses pour glisser dès que le plan sur lequel on les pose cesse d'être horizontal, on a fait des expériences pour connaître jusqu'à quelle inclinaison ces pierres pouvaient se soutenir, et on a trouvé que les pierres dures, qui coulent le plus facilement, ne commençaient à glisser que sur un plan incliné d'environ 30 degrés. Les mêmes expériences faites avec des pierres posées sur du mortier frais, ont donné pour la pierre dure 34 à 36 degrés, et pour la pierre tendre qui, en absorbant l'humide du mortier, lui fait prendre corps presque tout de suite, jusqu'à 45 degrés, lorsque leur centre de gravité ne tombe pas hors de leur base. Ainsi, en prenant 30 degrés pour le point où les voussoirs commencent à glisser, on est sûr d'avoir des résultats au-dessus de ceux que donnerait l'expérience, d'où il semble résulter qu'on ne devrait faire commencer le cintre qu'à cette hauteur. Dans plusieurs constructions de ponts antiques,

tels que celui du Gard et le pont Cestius à Rome, on voit encore les pierres saillantes sur lesquelles posait la base des cintres. Elles sont situées de 25 à 28 degrés au-dessus de la naissance du cintre. Cependant, pour les cintres des voûtes d'un grand diamètre, dont l'entrait a besoin d'être soutenu à une certaine distance, il vaut mieux faire commencer le cintre à la naissance, pour avoir un moyen de fortifier l'entrait en-dessous, comme dans les fig. 4, 5 et 6, planche CXXXI.

La charge des cintres ne commence qu'au-dessus de 30 degrés, et va en augmentant jusqu'aux voussoirs qui joignent la clef pour soutenir la voûte en attendant qu'elle soit mise en place.

Afin de trouver une combinaison de pièces de bois qui résiste solidement aux efforts des voussoirs, il faut commencer par déterminer la position de l'entrait; pour cela, quel que soit le cintre de la voûte, surhaussée, surbaissée, ou plein cintre, on tirera des points A et D, figures 4, 5, 6 et 7, deux tangentes indéfinies qui se rencontrent au point F, par lequel on mènera une perpendiculaire à la courbe, le point K, où elle la rencontrera, déterminera la position de l'entrait. Ayant ensuite divisé la partie K D en deux ou trois parties en raison de sa longueur développée, on tirera par les points de division E et G, fig. 4, d'autres perpendiculaires à la courbe, qui indiqueront la position de deux poinçons intermédiaires. Du point I, où la direction du premier rencontrera l'entrait, on tirera la ligne H I L qui indiquera en-dessous la position d'une jambe de force pour soutenir la portée de l'entrait, et en-dessus celle d'une contre-fiche pour contre-venter

le haut du poinçon L T, soutenu de l'autre côté par la contre-fiche L M qui butte contre le poinçon du milieu. La partie au-dessous de l'entrait sera divisée en deux, trois ou quatre parties en raison de sa longueur; par lesquelles on fera passer des moises R S, pour entretenir les jambes de force, poteaux et contre-fiches qui peuvent s'y trouver, fig. 7, et les empêcher de fléchir dans leur longueur.

Pour parvenir à connaître la grosseur des pièces de bois qui composent ce cintre d'après les directions que nous venons d'indiquer, il faut commencer à chercher l'effort au droit de l'entrait causé par la partie R K au-dessus de 30 degrés, indiquée par les lettres R *e g* K. Cet effort, qui agit selon la direction de l'entrait, en le pressant par les deux bouts, doit être au poids comme l'horizontale *i* K est à l'arc K R, d'après la théorie que nous avons ci-devant expliquée au 5me. livre, page 255.

Supposant le diamètre A B de la voûte de 72 pieds, et que le cintre est composé de fermes semblables à la figure 4, espacées de six pieds de milieu en milieu, on trouvera que le cube de la partie R *e g* K répondant à chaque entrait, est de 270 pieds qui peuvent être évalués au poids moyen de 150 livres par pied, ce qui produit 40500 livres; l'effort contre l'entrait devant être à ce poids comme *i* K est à K R, c'est-à-dire, à très-peu de chose près, comme 3 est à 5 on aura $\frac{40500 \times 3}{5} = 24300$ pour chaque bout, et pour l'effort entier 48600.

De ce qui a été dit sur la force des bois pressés par les deux bouts dans le sens de leur longueur, il résulte qu'une pièce de bois dans cette position peut soutenir

jusqu'à 44 livres par ligne carrée, ce qui ferait 6336 livres pour chaque pouce; mais en réduisant cette force à moitié, il ne faudrait à cet entrait, entretenu comme il l'est dans sa longueur, que 4 à 5 pouces de grosseur pour résister à l'effort de la partie inférieure du cintre. Cependant, si l'on considère que cet entrait sert de corde à l'arc qui forme la partie supérieure du cintre, on reconnaîtra facilement que l'effort résultant de la charge de cette partie de cintre qui agit en sens contraire de celui de la partie inférieure étant beaucoup plus considérable, le détruira entièrement.

La partie supérieure de la demi-voûte, depuis le point K jusqu'à la clef, ayant 33 pieds de circonférence moyenne sur 7 pieds réduit de haut, et six pieds d'épaisseur, produit un cube de 1386 pieds, lesquels, évalués comme ci-devant à raison de 150 livres, produiraient un poids de 207900, dont le cintre doit supporter environ les deux tiers, c'est-à-dire 138600. Ce poids, porté par la partie supérieure du cintre, agira sur l'entrait qui lui sert de corde avec un effort qui sera à 138600 comme K M est à l'arc K E G D, comme 68 est à 63, qui donne 128405, dont ôtant l'effort en sens contraire de la partie de voûte inférieure que nous avons trouvé de 24300, restera 104105 pour la demi-voûte, et pour la voûte entière 208210. Mais comme les contre-fiches prolongées H I L supportent plus de la moitié du poids, le plus grand effort sur l'entrait peut être réduit à 104105; et comme le bois tiré par les deux bouts a le double de force de celui qui est poussé en sens contraire, chaque pouce carré résisterait à un effort de 12672, dont ne prenant que la moitié on trouverait, pour la grosseur

de cet entrait, 16 pouces de superficie ou 4 pouces sur 4 pouces.

En cherchant les grosseurs des autres pièces de bois, on ne trouverait que 2 ou 3 pouces pour les pièces E I, I L, L T, L M et N *o*, et 4 à 5 pouces pour les jambes de force et les contre-fiches P Q, H I. Si l'on voulait avoir l'effort juste de cette partie de voûte sur son cintre, il faudrait faire pour chaque voussoir cette proportion. Le sinus total est au sinus de l'inclinaison du joint sur lequel il est posé, comme son poids est à la force qu'il faudrait pour le soutenir en agissant parallèlement au joint, qui est celle que doit lui opposer le cintre; ainsi, désignant le sinus total par r^t, le sinus de l'inclinaison du joint par s^n, le poids du voussoir par P, et la force qu'il faut pour le soutenir par F, on aura $r^t : s^n :: P : F$, d'où l'on tire $F = \frac{s^n \times P}{r^t}$; c'est-à-dire qu'il faut multiplier le poids de chaque voussoir par le sinus de l'angle du joint sur lequel il est posé, et diviser le produit par le sinus total. Ayant trouvé le cube du voussoir *g* K de 40 pieds, lesquels étant évalués pour le poids à raison de 150 livres donneront pour la valeur de P 6000. Le sinus s^n étant de 51 degrés, on aura $F = \frac{6000 \times \text{sin. } 51}{r^t}$ qui donnera 4663 pour l'effort de ce voussoir sur le cintre; en faisant la même opération pour chacun, on trouvera 116350, au lieu de 128405 que donneraient les deux tiers, en supposant que les joints des voussoirs peuvent glisser à la moindre inclinaison; mais comme ils ne commencent à glisser qu'à 30 degrés, on aurait $F = \frac{6000 \times \text{sin. } 30}{r^t}$ qui donneront F = 2150 pour le voussoir *g* K, et pour le demi-cintre 81254. Mais il est essentiel de considérer qu'il ne suffit pas que chacune de ces pièces

ait une force suffisante pour résister à la partie de l'effort à laquelle elle répond; il faut de plus que leur ensemble ait une solidité et une stabilité capables de résister à la masse des efforts réunis et en mouvement, en ayant égard aux défauts et imperfections des bois, de leur assemblage, de leur pose en place, et enfin aux charges et accidens extraordinaires auxquels les cintres peuvent être exposés. C'est pourquoi je pense qu'on peut déterminer les grosseurs des pièces de bois dont se composent les cintres, par la méthode usitée pour tous les ouvrages de charpente qui ont de grands efforts ou de grandes charges à soutenir. Cette règle consiste à donner aux poteaux ou pièces de bois qui doivent résister à des efforts qui les pressent par les deux bouts dans le sens de leur longueur, depuis le douxième de leur longueur isolée jusqu'au dixième.

Aux pièces de bois tirées par les deux bouts dans le sens de leur longueur, depuis un trentième jusqu'à un vingt-quatrième.

Pour les solives, poutres et autres pièces qui sont chargées perpendiculairement à leur longueur, depuis un vingt-quatrième jusqu'à un dix-huitième.

Dans le cintre dont il s'agit, la plus grande partie isolée de l'entrait étant de 34 pieds, on lui a donné 14 pouces sur 15 d'épaisseur, et on l'a doublé d'une pièce de 10 pouces qui peut être boulonnée avec l'entrait, ou, ce qui vaudrait encore mieux, réunie avec des frettes à écroux pour moins affaiblir les pièces.

Cet entrait est soutenu par des jambes de force P Q, H I, qui sont maintenues à moitié de leur longueur par des moises, dans lesquelles sont emmanchées les pièces ou faux arbalétriers qui portent les couchis.

Les jambes de force n'étant pas isolées dans toute leur longueur, au lieu du douzième on ne leur a donné que le quinzième de leur longueur. Ainsi, la jambe de force P Q ayant 15 pieds de longueur, on a fixé la grosseur à 12 pouces carrés, et celle de l'autre I H qui a 19 pieds, à 14 pouces sur 12.

La grosseur du poinçon E I, dont la longueur est de 5 pieds, sera de 5 sur 8 pouces pour répondre aux faux arbalétriers qui forment le contour du cintre. Celle du poinçon L T, qui a près de 8 pieds, sera de 8 pouces sur 8 pouces, et celle du poinçon du milieu D M, qui a près de 9 pieds, sera de 9 pouces sur 9 pouces.

La grosseur des contre-fiches L I, L M, et du lien N *o* a été fixée à 8 pouces, et enfin celle des faux arbalétriers qui soutiennent les couchis dont la longueur est de 8 à 9 pieds, a été fixée à 8 pouces sur 9 pouces.

En appliquant à ces dimensions le calcul de la force des bois, on trouvera une force beaucoup plus considérable que les efforts que ces pièces ont à soutenir; mais c'est cette surabondance qui constitue la solidité du cintre et sa stabilité, sans lesquelles on ne saurait être sûr de son opération. Ce principe est fondé sur la nature qui emploie toujours des moyens surabondans pour obtenir des effets constans et faciles, ainsi qu'on peut s'en convaincre par l'ossature des animaux dont la force est beaucoup au-dessus de ce qu'exigerait leur poids, leur volume et leur mouvement. Le défaut contraire est presque toujours la cause de ce que ceux qui se contentent de calculer le poids à supporter, l'effort à faire ou l'obstacle à vaincre pour y appliquer une puissance un peu au-dessus, réusissent rarement.

La figure 5 indique un cintre surbaissé, combiné d'une autre manière. L'entrait K K est déterminé par la même méthode que pour le précédent; il est soutenu par deux jambes de force K Q formant arbalétrier, deux poteaux d'aplomb P T, et deux contre-fiches I H. La partie supérieure est formée de quatre arbalétriers K D, L I, trois poinçons E I, L M, E I', et de quatre autres pièces pour soutenir les couchis. Les grosseurs de toutes ces pièces sont dans la proportion de celles pour la figure 4.

La figure 6 qui indique un cintre en demi-cercle, *ou plein cintre*, est combinée de la même manière que celui de la figure 5.

La figure 7 représente un cintre elliptique surhaussé, qui ne diffère des précédens qu'en ce que la partie inférieure étant plus considérable, est réunie par quatre rangs de moises, dont deux horizontales et deux inclinées; celles K G qui passent aux extrémités de l'entrait sont perpendiculaires à la courbe dans la direction tirée du point F.

Les pièces de bois détachées A B C D E F G, dessinées sur une échelle double pour faire voir leurs assemblages, répondent à celle des figures 4 et 6 indiquées par les mêmes lettres.

Les figures 1 et 2 de cette planche indiquent deux manières de cintrer des arcades, que j'ai vu pratiquer à Rome; la première, pour des arcades que l'on construisait, les parties A et B étaient remplies en maçonnerie de briques.

La seconde manière, fig. 2, était pour soutenir une arcade et la partie du mur au-dessus, pour refaire un des piedroits qui avait fléchi.

Les plans de ces étayemens, qui sont au-dessous, sont pris sur la ligne C D.

Les figures 1 et 2 de la planche CXXXII représentent deux combinaisons de cintre proposées par M. Pitot, pour les arches de pont, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences de 1726. On voit que, par rapport à la position des entraits, elle s'accorde avec celle que nous avons proposée, ainsi que celle des jambes de force et des pièces qui doublent les entraits dans le milieu. Les doubles arbalétriers E F, N L donnent une grande force aux parties supérieures de ces cintres, et les rendent capables de soutenir solidement les voûtes les plus massives sans se déformer.

La figure 3 est une disposition de cintre de charpente proposée par M. Lorgna, de Vérone, dans un ouvrage italien intitulé : *Saggi di statica e mecanica applicate alle arti.* Quoique les principes et les calculs sur lesquels il se fonde justifient cette combinaison, nous pensons qu'elle n'est pas assez bien liée pour avoir la solidité et la stabilité nécessaires pour une grande voûte, telle qu'une arche de pont. Les jambes de force C D, E G sont trop inclinées, et les faux poinçons A Z, B T, bien loin de soutenir l'entrait, pourraient le surcharger malgré les contre-fiches *h i*. Les boules *a*, *b*, *c*, *d* ont été placées pour indiquer la charge et l'effort du cintre aux points F, A, B, I.

On a représenté, par la figure 4, la manière de disposer un cintre pour voûter un grand édifice, en profitant des échafauds de charpente faits pour la construction des murs. La base E F du cintre est élevée au-dessus de la naissance de 19 degrés environ.

La position de l'entrait G H est déterminée comme nous l'avons ci-devant expliqué. Cette voûte quoique supposée construite en pierre, étant beaucoup moins lourde qu'un arche de pont, on a employé moins de pièces de bois dans la combinaison de son cintre.

Pour des voûtes plus légères, comme dans la fig. 5, on peut se servir de courbes en planches doublées, moisées et entretenues par des planches, des madriers, ou pièces de charpente, en raison que leur diamètre ou leur charge sont plus ou moins considérables, ainsi qu'on le voit indiqué dans la figure par les lettres H, *f*, G; *d*, *f*, *k*, *h*, *i*. On peut éviter par ce moyen de mettre des étais pour soutenir le milieu, ce qui devient avantageux; surtout lorsque la pièce que l'on doit voûter est fort élevée.

On pose les courbes en planche, dont on forme les voûtes, sur des sablières qu'on place le long des murs, à la hauteur de leur naissance, et qu'on soutient au dessous par des poteaux; on espace ces courbes depuis dix-huit pouces jusqu'à deux pieds, selon que la voûte est plus ou moins pesante, planche CXXIX.

Si c'est une voûte en berceau, les courbes se rangent parallèlement, comme on le voit indiqué par la figure 6.

Pour une voûte en arc de cloître, on pose deux courbes rallongées selon les diagonales, et deux autres en croix selon le cintre primitif, et l'on garnit le reste avec des parties de courbes K 1, 1 O, M N, N L, posées en empanons, et arrêtées sur les courbes en diagonale, fig. 7.

Pour un voûte d'arête, après avoir posé dans toute sa longueur des courbes espacées parallèlement comme pour une voûte en berceau, on en place d'autres par-

dessus en sens contraire, comme on le voit par la figure 8 en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, pour former le galbe des lunettes. Les premières, le long des murs, doivent former le cintre entier des lunettes, et les autres ne sont que des parties qui vont en diminuant des deux bouts, jusqu'à l'endroit où cette lunette se perd dans le berceau qu'elle rencontre.

Pour les voûtes sphériques ou sphéroïdes, les cintres se composent de courbes tendantes au centre.

Dans les pays où l'on construit les voûtes en moellons ou briques maçonnés en mortier, on cloue sur ces courbes des planches de sapin, pour les réunir et former un relief qui sert pour ainsi dire de moule à la voûte.

Ces cintres ainsi formés sont soutenus en-dessous par un rang d'étais sous le sommet et deux autres vers le milieu des reins; elles sont assez solides pour soutenir des voûtes de 18 à 20 pieds de diamètre sur 12 à 15 pouces d'épaisseur.

En visitant les ruines des édifices antiques, j'ai reconnu que les anciens Romains construisaient leurs cintres de cette manière. On voit en plusieurs endroits des Thermes et du Colisée, sur la surface intérieure des voûtes qui n'ont pas été enduites, et sur plusieurs de celles dont les enduits sont tombés, les marques des planches de sapin qui formaient le dessus des cintres.

Dans plusieurs endroits d'Italie, au lieu de planches on cloue sur les courbes des cannes ou roseaux pour former la surface; et, afin de la rendre unie et régulière, on recouvre ces roseaux avec un mortier de terre détrempée avec de l'eau, avec lequel on figure quelquefois en relief le renfoncement des caissons et autres compartimens dont on veut enrichir les voûtes.

Les cintres pour les grandes voûtes en pierre de taille, d'arête, d'arc de cloître, ou sphériques, se composent de fermes ou de demi-fermes, disposées comme les courbes en planches, et espacées en raison de l'épaisseur des couchis ou madriers dont ils doivent être recouverts pour soutenir les voussoirs.

Cintres et échafauds pour la construction du dôme du Panthéon français, planches CXXXIII et CXXXIV.

Comme les voûtes sphériques se composent de couronnes de voussoirs qui se soutiennent d'elles-mêmes dès qu'elles sont terminées, les cintres n'ont jamais qu'une de ces couronnes moins un voussoir à soutenir, ce qui n'exige pas une grande force; c'est pourquoi on s'est servi des échafauds pour former les cintres des trois grandes voûtes en coupole que contient ce dôme, ainsi qu'on le voit par les figures 1 et 2. Celui de la grande coupole extérieure est indiqué par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; celui de la coupole intermédiaire par *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*; celui de la coupole intérieure ouverte à son sommet par *o*, *p*, *q*, *r*. On voit que ces cintres ne sont formés que par des poteaux inclinés qui soutiennent des sablières horizontales à 8 à 10 pieds de distance pour servir d'échafauds, contre-ventés par des pièces en contre-fiches ou en diagonale.

La figure 1 de la planche CXXXIV représente le plan de l'enrayure placée à la naissance de la coupole extérieure; elle était commune aux cintres de la coupole extérieure et de celle intermédiaire. Les lettres *s*, *t*, *u*, *v*, in-

diquent des demi-fermes qui ne font pas partie de la grande charpente.

Le principal étage du grand échafaud formait une superficie de 754 toises, élevé à 124 pieds au-dessus du sol intérieur de l'église. Il était soutenu au milieu, répondant à l'intérieur du dôme par quatre espèces de grandes fermes qui se croisaient au centre, où elles formaient un vide carré pour le service d'un singe servant à monter les pierres. Chacune de ces fermes était composée, à l'intérieur du dôme, de jambes de force A B, C D, planche CXXXIII, fig. 1 et 2, et de contre-fiches E F, G H, entretenues dans leur portée par une moise I K.

La sablière au-dessus était fortifiée, en outre, dans son milieu par deux doublures qui triplaient son épaisseur à l'endroit où posait le singe L, et qui étaient soutenues par les contre-fiches.

Les jambes de force portaient sur la saillie de l'entablement des pendentifs, et sur les retraites entre les colonnes de l'intérieur du dôme.

Cette sablière, continuée du côté de l'extérieur par des assemblages en trait de Jupiter, était soutenue à ses extrémités par un poteau M, posé sur la saillie de la corniche du premier soubassement, et par trois contre-fiches en liens N, O, P, assemblées dans la sablière et le poteau, elles étaient entretenues par une grande moise Q qui retenait cette partie de l'échafaud extérieur à l'échafaud intérieur du dôme, en embrassant les jambes de force A B et C D.

Au centre de cet échafaud, il y avait, indépendamment des quatre fermes de l'intérieur du dôme, quatre autres demi-fermes en diagonale, indiquées dans les figures des planches CXXXIII, par les lettres S, S_2,

R, T, composées chacune d'une jambe de force R, de deux contre-fiches S, S, et d'un lien T supportant une sablière qui se prolonge, pour former avec d'autres VV, OO, XX et YY, figure 2, planche CXXXIV, des parties d'échafaud en saillie, au-dessus des quatre angles rentrans des murs extérieurs de l'église, au-devant des pans coupés. Ces sablières étaient soutenues, en dessous, par des poteaux formant, avec d'autres sablières, trois étages d'échafauds entretenus et contre-ventés par des décharges, des contre-fiches et des liens, figure 2, planche CXXXIII.

A l'extrémité de chacune de ces parties d'échafaud etait un trou de service, avec un singe ou treuil marqué Z, qui servait à monter de l'extérieur les pierres et autres matériaux.

Le dessus de ce grand échafaud était garni de fortes solives arrêtées sur les sablières, et de madriers cloués sur les solives, ce qui procurait au sol, formé par cet échafaud, assez de solidité pour pouvoir rouler et déposer dessus les pierres, bois et autres matériaux nécessaires à la construction.

Au-dessus de ce grand échafaud s'en élevait un autre de 42 pieds, composé de trois étages, soutenu par des poteaux, formant la continuation de ceux du bas, entretenu de même par des décharges, contre-fiches et doubles liens. Le dessus de ce second échafaud était garni, comme le premier, de solives et de madriers; il servait de second dépôt pour la construction de l'attique et de la grande coupole extérieure du dôme.

Sur les quatre parties en avant-corps de cet échafaud, en avait établi quatre grues d'une nouvelle invention, que

j'imaginai pour faciliter le service de la pose, dont on trouvera la description dans l'article V, qui traite des machines dont on fait usage pour la construction des édifices.

Cintre pour la restauration des piliers du dôme du Panthéon français, ou nouvelle église Sainte-Geneviève, planche CXXXV.

Les cintres peuvent encore servir d'étayement pour soutenir des voûtes ou des arcades déjà faites, qui ont besoin d'être réparées, ou pour rétablir leurs piedroits quand ils ont fléchi sous le poids dont ils sont chargés, comme il est arrivé à ceux qui soutiennent le dôme du Panthéon. Les cintres qu'on a été obligé de faire pour rétablir ces piliers, représentés par les figures 1, 2, 3 et 4, devaient être assez forts pour soutenir le poids dont les arcades sont chargées, qui est de près de vingt millions.

Un cintre ordinaire de charpente, composé de pièces de bois isolées dans leur longueur, eût été insuffisant pour un si grand fardeau. Ce n'est que d'après bien des calculs, des observations et des réflexions que je me suis décidé à former ces cintres et leurs piedroits de pièces jointives, fortement reliées par des moises et des boulons. Dans chaque arcade, on a placé deux cintres composés chacun de trois rangs de pièces de bois jointives, formant des polygones concentriques, disposées de manière que les angles du second rang répondaient au milieu des côtés de ceux du premier et du troisième rangs, en sorte que tous les joints se

trouvent reliés par l'effet du croisement des pièces qui forment ces polygones, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 5. Les piedroits de charpente qui soutiennent ces cintres, sont composés de douze pièces de bois jointives, formant en plan une base rectangulaire de 3 pieds 4 pouc., sur 2 pieds 4 pouc. Ils sont établis sur des massifs en pierre de taille de 11 pieds de haut; ces piedroits de charpente sont maintenus dans leur hauteur, qui est de 51 pieds depuis le massif en pierre, par six rangs de moises et six grandes enrayures.

Ces piedroits sont placés à une distance de 2 pieds 7 pouces du nu des colonnes, afin d'avoir un espace suffisant pour travailler à la restauration des piliers du dôme. Cet espace a été rempli par une construction mixte de charpente et de maçonnerie, combinée de manière à pouvoir se défaire par le bas, à mesure de la restauration, sans que le haut cesse d'être soutenu au moyen de pièces de bois en contre-fiche indiquées par la lettre *b*. Elles sont assemblées dans des crémaillères posées le long des piedroits de charpente.

Dans la partie du cintre au-dessus, ce vide a été rempli par un arc en moellons piqués, maçonnés en plâtre, qui remplit exactement l'espace entre le dessous des arcades et le cintre de charpente.

A l'intérieur des piedroits de charpente, on a construit des dosserets en pierre de taille et moellons piqués, aussi maçonnés en plâtre, pour les maintenir dans toute leur hauteur. Ces doubles piedroits ou dosserets supportent un arc en pierre avec une construction au-dessus en moellons et plâtre, pour fortifier et entretenir le cintre de charpente dans toutes ses parties. Il résulte de cette

combinaison de charpente et de maçonnerie en plâtre, que cette dernière ayant la propriété d'augmenter de volume, en faisant corps, elles se sont serrées l'une contre l'autre sans effort étranger, qui aurait pu ébranler la masse à soutenir pendant le temps de la restauration, et que, l'opération étant terminée, on pourra successivement démolir les parties de maçonnerie et de charpente, sans qu'il puisse en résulter aucun mouvement dangereux par l'effet de la transmission du fardeau sur les parties reconstruites.

Un cintre tout en charpente, composé d'un si grand nombre de pièces, aurait été susceptible de se restreindre plus qu'il ne fallait pour opérer une restauration solide; d'un autre côté, un cintre de pierre aurait pu prendre charge sous le fardeau, avant le rapprochement que les anciennes et nouvelles constructions pouvaient éprouver : alors il eût été difficile d'ôter ces cintres et d'éviter les effets qui seraient résultés de leur suppression; au lieu que la compression, dont le bois est susceptible, se trouve dans le cas de procurer le transport du fardeau sur les nouvelles constructions, sans secousse ni ébranlement.

La force de ces cintres a été calculée pour résister ensemble à un effort de 20 millions, qui est le plus grand possible, dans le cas où il se ferait des ruptures qui permissent à tout ce qui répond à ces cintres d'agir isolément; cette hypothèse outrée compense celle qu'on est obligé de faire pour rétablir le calcul sur la force des bois, en supposant les piedroits formés d'une seule pièce. La grosseur de ces piedroits, étant de 3 pieds 4 pouces sur 2 pieds 4 pouces, produit une superficie de base de 7 pieds 9 pouces 4 lignes, sur 51 pieds de

haut, ce qui établit la proportion moyenne entre la hauteur de $\frac{1}{13}$. Il résulte de ces expériences que nous avons ci-devant citées, page 67, qu'un cube de bois posé debout ne commence à se refouler que sous un effort de 44 livres par ligne superficielle; mais que cette force diminue en raison de ce que le rapport de la base à la hauteur augmente; en sorte que, pour une pièce dont la hauteur est de 18 fois la base, cette force se réduit à 20 livres, dont prenant la moitié, parce qu'il ne faut pas que ces piedroits se refoulent, on trouvera 1440 livres pour chaque pouce, 207370 pour chaque pied, et 1612800 pour chaque piedroit; 6451200 pour les piedroits de chaque arcade, et 25 millions 854 mille 800 pour ceux des quatre arcades, ce qui fait un quart de plus que le plus grand fardeau qu'ils puissent avoir à soutenir. Cependant, comme ces cintres sont composés d'un très-grand nombre de pièces de bois susceptibles de se rapprocher, avant de se refouler, sous un poids beaucoup moindre, on y a ajouté les dosserets en maçonnerie, dont la superficie est de 44 pieds pour chaque cintre, et 176 pieds pour les quatre; la moindre force de cette construction, pouvant être évaluée à 72 milliers par pied superficiel, procure à ces cintres un renfort de 12 millions 672 mille, indépendamment des parties en contre-fiches joignant les parties des piliers du dôme que nous n'avons pas compris dans cette évaluation, parce que la majeure partie de leur effort se porte sur les piedroits des cintres, dont elle augmente la charge en les maintenant. Il faut remarquer que la force du bois de chêne posé de bout est deux fois plus grande que celle de la roche de Châtillon, qui est la pierre la plus dure de Paris.

Des étayemens.

Dans la planche CXXXVI, les figures 1 et 2 indiquent la manière d'étayer un mur de face pour soutenir un trumeau séparant deux croisées, afin de former au-dessous une ouverture de boutique ou une porte cochère, en supprimant la partie de trumeau qui se trouve au rez-de-chaussée. Ce moyen consiste à étrésillonner les croisées des étages au-dessus, en mettant des plates-formes *a*, *a* le long des jambages avec des étrésillons *b*, *b* en travers, inclinés alternativement en sens contraire, comme on le voit par la figure 1. On soutient la partie du trumeau conservée par une forte pièce de bois, à laquelle on donne le nom de poitrail.

Pour parvenir à mettre en place ce poitrail, qui doit poser sur les jambages conservés B B des croisées supprimées au rez-de-chaussée, on pose des étais appelés chevalemens, parce qu'ils ont l'apparence de grands chevalets; ils sont composés d'étais *c*, *c*, inclinés en sens contraire, qui soutiennent une forte pièce de bois *f*, qui traverse le mur. Les étais inclinés, qui forment les pieds de ces chevalets ou chevalemens, sont arrêtés par le bas dans des couchis *e*, *e*, et par le haut dans la pièce qui traverse le mur au moyen d'entailles dans le haut de ces étais, indiqués par *d* dans les figures plus en grand au-dessous de la figure 1.

La figure 2 représente un des chevalemens en profil.

Cette opération, qui ne devrait pas être permise, puisqu'elle est contre tous les principes de solidité et de construction, est moins dangereuse pour des murs de

face construits en moellons et plâtre, que pour des faces en pierres de taille, parce que, lorsque les premiers ont été bien maçonnés, le plâtre réunit les moellons avec assez de force pour que l'étrésillonnement des croisées puisse quelquefois suffire sans chevalement; mais on ne peut jamais s'en dispenser pour des trumeaux en pierres de taille.

Les figures 3, 4 et 5 font voir la manière d'étayer les planchers d'une maison, lorsqu'on est obligé de reconstruire le mur de face; on suppose que les solives de ces planchers sont portées alternativement sur les murs de refend *o*, *o*, et sur le mur de face.

La figure 4 représente une coupe parallèle au mur de face; on voit que les premier et troisième planchers, dont les solives sont soutenues par le mur de face à démolir, ont besoin d'être étayés; et comme le plancher intermédiaire doit porter les étais qui doivent soutenir le troisième plancher, il a aussi besoin d'être étayé. Tous ces étais doivent être placés immédiatement les uns au-dessus des autres, avec des couchis *k*, *k* par le bas, et des sablières *m*, *m* par le haut. Lorsque les planchers ou le bâtiment paraissent se porter un peu plus d'un côté que de l'autre, il faut, au lieu de poser les poteaux d'aplomb, leur donner un peu d'inclinaison en sens contraire.

On ne coupe pas les bouts des étais carrément; on leur donne une double inclinaison, comme on le voit indiqué par la lettre *q*, aux pièces qui sont au bas des figures 3 et 4.

Il ne faut pas frapper ces étais pour les faire roidir, on se sert pour cela d'une pince qui produit le même

effet sans causer d'ébranlement; pour faire poser les étais dans toute leur épaisseur, on y met des coins qu'on fixe avec des clous.

Il faut à un architecte beaucoup d'expérience pour faire étayer un édifice comme il convient, sans y employer une quantité superflue de bois, comme font la plupart des charpentiers, pour se procurer plus d'ouvrage. Comme les circonstances peuvent varier à l'infini, il est difficile de prescrire aucune règle à ce sujet, si ce n'est qu'il faut qu'aucune pièce ne tende à contrarier l'effet des autres, et que toutes se réunissent pour soutenir et maintenir les parties des édifices qui ont besoin d'être étayées.

ARTICLE V.

Des voûtes en bois de charpente.

D'APRÈS tout ce que nous avons dit dans l'article précédent sur les combles à surfaces courbes, il nous reste peu de chose à dire sur les voûtes, qui n'en diffèrent que parce que leur surface apparente est en-dessous, et par conséquent concave, tandis que la surface apparente des combles ronds qui est en dessus est convexe.

Si l'on considère les voûtes relativement à leur surface, on peut les diviser en deux classes principales, dont la première comprendrait toutes celles qui sont droites d'un sens et courbes de l'autre, telles que les voûtes cylindriques, coniques, et autres de ce genre.

Dans la seconde classe seraient comprises les voûtes à surface courbe en tout sens.

D'après cette division, toutes les voûtes de la première classe peuvent être composées de pièces droites combinées avec d'autres, formant la courbure du cintre. Quant aux voûtes de la seconde classe, elles ne peuvent être formées que par une combinaison de pièces courbes verticales et horizontales.

Pour parvenir à bien faire les voûtes de charpente, il faut connaître la nature des surfaces qu'elles doivent présenter à leur formation, soit en lignes droites ou en lignes courbes, ainsi que la manière dont elles se combinent, parce que les pièces de bois qui doivent les composer doivent, autant qu'il est possible, suivre la même disposition; ce qui facilite beaucoup leur exécution et rend les voûtes plus solides.

On peut aussi distinguer ces voûtes en trois espèces principales : 1°. celles qui se pratiquent en partie dans les combles, comme on en voit dans plusieurs églises et autres grands édifices; 2°. celles qui sont isolées et extradossées, c'est-à-dire formant en dessus un galbe correspondant à la courbure de la face intérieure; 3°. celles sous planchers.

Première espèce de voûtes pratiquées dans les combles, planche CXXXVII.

Dans les plus anciens édifices, ces voûtes sont formées par des courbes de charpente assemblées dans des chevrons portant fermes, comme on le voit indiqué par les fig. 2 et 3. Lorsque c'est une voûte cylindrique comprise

entre deux murs parallèles, fig. 4, il suffit d'une seule épure pour tracer toutes les courbes qui doivent la former, parce que le cintre doit être partout le même.

Si les murs entre lesquels la voûte est comprise ne sont pas parallèles, fig. 8 et 11, son diamètre changera à chaque point, et si l'on veut que la courbe du cintre soit formée par un demi-cercle, ce sera une voûte conique, fig. 6, 7 et 8, dont le sommet ou les naissances seront en pente, ce qui ne convient pas toujours; alors on peut, en prenant un demi-cercle pour le cintre de la partie la plus étroite, former celui des autres par des demi-ellipses, dont l'axe horizontal augmentera comme les largeurs, tandis que la hauteur sera partout la même que celle du demi-cercle, fig. 9, 10 et 11. M. Frezier désigne cette espèce de voûtes sous le nom de *conicocylindrique*.

Les courbes de la voûte conique ne sont pas difficiles à tracer, puisque ce sont des demi-cercles qui ont pour rayon la demi-largeur correspondante, fig. 7 et 8.

Quant à celle de l'autre voûte, ce sont des ellipses dont on connaît les deux axes, qui peuvent se tracer par la méthode indiquée au IIIme. livre, page 113, en se servant des foyers, ou par les ordonnées du demi-cercle qui forme le cintre de la partie la plus étroite, comme on le voit indiqué dans la fig. 5.

Il faut remarquer, 1°. que ce moyen de rallongement de courbe, d'après un cintre donné, est le même pour toutes sortes de voûtes cylindriques ou coniques, et en général pour toutes celles formées par des courbes réunies par des lignes droites; 2°. que toutes ces espèces de voûtes devant être composées de courbes posées verticalement, il en résulte que leur formation dépend de leur combinaison

avec les liernes ou entretoises qui les réunissent et qui sont toujours droites; le surplus pour former la superficie de la voûte, est un remplissage formé par un lattis recouvert en plâtre ou en stuc, et quelquefois par des panneaux de menuiserie formant un compartiment avec les courbes.

3°. Que chaque courbe étant comprise entre deux plans parallèles, qui forment leur épaisseur, elles peuvent s'assembler sur l'épure, ce qui rend leur exécution très-facile.

Les figures 1, 2 et 3 représentent une des fermes des voûtes en berceau pratiquées dans les combles, dont la fig. 4 est le plan commun.

Dans la figure 1, c'est un cintre gothique pratiqué dans un comble fort élevé. On a placé, dans celui figure 1, un entrait A par le bas à de certaines distances, pour empêcher l'écartement des murs, comme on le voit dans quelques anciennes églises.

La fig. 2 représente un comble moins élevé, avec une voûte en plein cintre, où l'on pourrait conserver des entraits, ou plutôt des chaînes de fer qui seraient moins apparentes, comme on en voit dans la plupart des églises d'Italie.

La figure 3 indique une voûte surbaissée dans un toit encore moins élevé.

On suppose ces trois voûtes formées par des courbes espacées également et réunies par des liernes, comme nous l'avons ci-devant expliqué.

Les fig. 12, 13, 14, 18, 19 et 20 sont les coupes de voûtes d'arête et d'arc de cloître sur les plans, fig. 15 et 21, de même diamètre et de différentes élévations de cintre.

Pour former ces voûtes, on commence par les cintres des diagonales A C, B D, qui forment les angles saillans dans les voûtes d'arête et les angles rentrans dans les voûtes en arc de cloître.

On peut raccorder ces cintres pour former des voûtes d'arête ou d'arc de cloître, par des pièces droites ou par des courbes.

Pour les voûtes d'arête, on place contre les murs des courbes formant le cintre des lunettes, dans lesquelles s'assemble un des bouts des pièces droites *d*, *d*, et l'autre dans les cintres en diagonale, fig. 12, 13, 14, 15 et 16.

Pour les voûtes en arc de cloître, les pièces droites *d*, *d* se posent parallèlement aux côtés, et s'assemblent des deux bouts dans les cintres en diagonale, figure 18, 19, 20, 21 et 22.

Lorsqu'on veut raccorder les cintres en diagonale par des pièces courbes *c*, *c*, pour les voûtes d'arête, on les pose parallèlement aux cintres des lunettes placées contre les murs, dont les courbes *c*, *c* sont des parties déterminées par des perpendiculaires tirées des points où elles doivent rencontrer les diagonales, dans lesquelles elles s'assemblent des deux bouts, fig. 12, 13, 14, 15 et 17.

Dans les voûtes en arc de cloître, les courbes sont des parties de celles qui se croisent au milieu. Ces courbes s'assemblent par le bas dans une sablière droite *a*, *b* placée le long de chaque mur, à la hauteur des naissances, et par le haut dans les cintres en diagonales, fig. 18, 19, 20, 21 et 23.

Les intervalles entre les courbes ou pièces droites sont réunis ordinairement par un lattis recouvert d'un enduit de plâtre ou de stuc, et quelquefois par des

panneaux de menuiserie formant, avec les courbes et les traverses, des compartimens convenables au développement de la voûte.

D'après tout ce qui a été dit précédemment, il n'y a que les cintres en diagonale A C, B D, qui puissent présenter quelque difficulté, à cause de leur épaisseur, qui fait qu'ils doivent former, de chaque côté de l'arête du milieu, des parties des lunettes qui se réunissent à la diagonale.

L'épaisseur de ces cintres étant comprise entre deux plans parallèles, on commencera, pour la voûte d'arête, à former, par le moyen d'un calibre relevé sur l'épure, une surface selon la courbe de la diagonale, comme pour former un pan coupé, perpendiculaire à cette diagonale. Cette courbe étant faite et le milieu tracé, on coupera le bas selon l'angle qu'il doit former; ce qui donnera un point *f*, d'après lequel on tracera avec le même calibre une seconde courbe, qui sera inégalement distante de la première. Ayant ensuite porté les mêmes divisions sur les deux courbes, c'est-à-dire, sur celle tracée au milieu de la pièce et la seconde placée sur le devant, on tirera, par les divisions correspondantes, des lignes droites pour abattre le bois à la règle d'une courbe à l'autre; ce qui formera l'arête saillante de la voûte et une partie des lunettes qui forment cette arrête par leur rencontre. Si cette voûte doit être extradossée, on tracera le dessus par le moyen du même calibre, auquel on aura fait porter l'épaisseur de la voûte, fig. 24.

Par le moyen de ce calibre, on pourra former le cintre d'autant de pièces qu'on voudra, assemblées à trait de Jupiter sur l'épaisseur, afin que le bois soit moins tranché et de moindre grosseur.

Pour la voûte d'arc de cloître, on est obligé de creuser l'arête du milieu après avoir formé le pan coupé des arêtes extérieures. Pour avoir la mesure du recreusement, on tracera sur une des faces extérieures, avec le calibre, la courbe du point plus reculé *f*, où elle doit commencer; ensuite, on tracera des lignes droites pour indiquer la manière de poser la règle pour abattre le bois qui doit former le recreusement, fig. 25. Cette opération demande beaucoup plus de précautions que pour former une arête saillante.

Des voûtes à double courbure.

Toutes les voûtes érigées sur des plans circulaires ou elliptiques, quelle que soit la courbure de leur cintre, se composent de courbes qui tendent au centre, assemblées par le bas dans une sablière posée au droit des naissances, et par le haut dans des liernes ou entretoises posées à différentes hauteurs, à la réserve de quatre fermes principales, qui peuvent se croiser ou s'assembler dans un petit poinçon, planche CXXXVIII, fig. 1, 2, 3 et 4.

Le peu d'épaisseur de ces courbes relativement à la circonférence de la voûte, dispense de creuser leur face ainsi que celle des liernes, d'autant plus qu'elles ne sont faites que pour recevoir le lattis pour l'enduit qui doit former la superficie intérieure de la voûte.

Lorsque la voûte est sur un plan elliptique, les courbes changent à chaque point; mais comme ce sont toujours des quarts d'ellipse dont on connaît les deux demi-axes, elles ne sont pas difficiles à décrire; quelle que

soit la courbure du plan, il faut prendre celle qui passe par le milieu de l'épaisseur.

Il est évident que toutes les courbes des différentes espèces de voûtes dont il vient d'être question, peuvent être faites en planches doublées dans le genre de celle de Philibert Delorme, en supprimant les liernes qui les traversent, qu'on peut mettre alternativement dessus ou dessous comme on le voit exprimé par la figure 5. Nous pensons cependant que le moyen que nous avons proposé, d'après M. Lacase, est préférable, parce qu'il est plus solide et moins coûteux.

Les courbes les plus difficiles à bien exécuter sont celles qui forment les arêtes des lunettes, qui pénètrent une voûte au-dessous de son sommet, comme on peut en pratiquer dans les voûtes en berceau, en arc de cloître sphérique ou annulaire, parce qu'étant à doubles courbures elles exigent, dans les pièces de bois qui doivent les former, les développemens ou débillardemens qu'il s'agit de tracer; et, comme il est important de n'y employer que des bois d'une grosseur convenable, il faut trouver, d'après leur projection en plan et en élévation, le rallongement des courbes que le développement de ces pièces doit donner, et le prisme dans lequel elles peuvent être comprises.

Les fig. 6, 7, 8 et 9 indiquent l'élévation, le plan et le profil d'une lunette en plein cintre, qui pénètre dans une voûte en berceau aussi plein cintre, mais d'un plus grand diamètre.

Pour faire cette lunette en charpente, on suppose une espèce de ferme composée de deux poteaux G H A E, B F K I, figure 6, inclinés en sens contraire, réunis

par une pièce de bois horizontale G L M K, dans laquelle ils sont assemblés, la grosseur de ces pièces est assez considérable pour qu'on puisse y creuser les parties de surface courbes qui doivent former l'arête à double courbure de la lunette. Cette disposition est indiquée dans ces trois figures par les mêmes lettres et les mêmes chiffres, pour mieux indiquer leur correspondance et les lignes d'opération.

Les fig. 8, 10 et 11 expriment les rallongemens des faces des poteaux avec les courbes tracées dessus pour la formation des parties de surface dont la rencontre exprime la partie de l'arête à double courbure qu'elles doivent former.

La pièce horizontale qui réunit les deux poteaux inclinés n'est pas difficile à tracer; c'est un prisme qui peut se tailler par le moyen d'un panneau ou calibre, indiqué dans le profil par T R E P Q, fig. 7.

Pour former la partie de la lunette, on recreuse la partie qui y répond, par le moyen d'une courbe, E D F, fig. 6.

Lorsque les lunettes sont trop grandes pour être faites en quatre pièces, on peut les faire en cinq ou en six, assemblées à moitié bois avec entailles et clefs, comme on le voit indiqué par les fig. 12 et 13.

Pour trouver le rallongement des pièces, on opérera pour chaque partie comme nous venons de l'expliquer. On formera le polygone inscrit dans l'élévation, le plan et le profil, d'après lesquels on tracera les courbes à appliquer sur chaque pièce.

Ce serait le même procédé pour une lunette biaise surhaussée ou surbaissée, selon une courbe quelconque.

Si la lunette est pratiquée dans une voûte sphérique ou sphéroïde, il faut, pour opérer avec plus de pré-

cision, attacher aux extrémités des pièces biaises ou inclinées des courbes primitives le panneau de leur projection, comme on le voit indiqué par la figure 14, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire. Quant aux assemblages, ils doivent être faits plutôt pour les pièces de bois carrées dans lesquelles les courbes sont prises, que pour les courbes, surtout les tenons, afin d'être selon le fil du bois.

Des voûtes en charpente pratiquées sous les planchers.

En donnant à ces voûtes une hauteur de cintre proportionnée à leur largeur, on peut les combiner de manière à en former de très-grandes et de très-solides, composées de fermes et d'armatures, dans le genre des ponts de charpente, revêtues à l'intérieur de courbes, comme l'indique la figure 15.

Les plus agréables sont celles composées de voussures avec un plafond au milieu, comme on en fait au Louvre; c'est un moyen fort ingénieux de soulager la trop grande portée des poutres ou des solives d'un plancher, quelle que soit la forme de leur plan.

Ces planchers conviennent pour les grands appartemens des princes ou salles royales; on peut les décorer de sculpture, de peinture et de dorure.

Les figures 16, 17, 18 et 19 représentent les plans et les détails pour un plancher carré et pour un plancher long; celles 20 et 21, pour un plancher circulaire ou elliptique. Ces figures indiquent la disposition des poutres, des solives, des liernes et des courbes qui doivent les former.

ARTICLE VI.

Des ponts de charpente.

On peut considérer les ponts de bois comme de forts planchers construits en travers des rivières pour communiquer d'un rivage à l'autre, et servir à réunir des chemins ou de grandes routes. Ils peuvent être formés de poutres soutenues à leurs extrémités par des piles et des culées en maçonnerie ou en charpente.

Parmi les ponts de bois construits par les anciens, les plus dignes d'être cités sont : 1°. le pont Sublicius; 2°. le pont que César fit construire sur le Rhin pour faire passer son armée; 3°. celui construit sur le Danube par Trajan, dont la figure se trouve sur la colonne Trajane.

Pont Sublicius à Rome.

Ce pont fut construit sous le règne d'Ancus Marcius, un des premiers rois de Rome, à la place de celui qui fut défendu si vaillamment par Horatius Coclès, tandis qu'on le rompait derrière lui. Les anciens auteurs citent, comme une chose digne d'être remarquée, qu'il pouvait se démonter, se remonter, et qu'il ne fut employé aucun fer ni clou pour réunir les pièces de bois, qui se maintenaient solidement par leur combinaison et leur assemblage. On prétend que le nom de *Sublicius* lui vient de *sublica*, qui signifie un pieu, en sorte que ce pouvait être un plancher établi sur des files de pieux plantés à de certaines distances les uns des autres.

Pont de César sur le Rhin.

La construction de ce pont est décrite d'une manière plus détaillée dans les Commentaires de César.

Texte des Commentaires.

Rationem igitur pontis hanc instituit : tigna bina sesquipedalia, paulùm ab imo præacuta, dimensa ad altitudinem fluminis, intervallo pedum duorum inter se, jungebat. Hæc cum machinationibus immissa in flumine defixerat, fistucisque adegerat, non sublicæ modo directa ad perpendiculum, sed prona ac fastigiata, ut secundùm naturam fluminis procumberent. His item contraria duo ad eumdem modum juncta, intervallo pedum quadragenum ab inferiore parte, contra vim atque impetum fluminis, conversa statuebat. Hæc utraque bipedalibus trabibus immissis, quantùm eorum tignorum junctura distabat, binis utrinque fibulis ab extremâ parte distinebantur; quibus disclusis atque in contrariam partem revinctis, tanta erat operis firmitudo, atque ea rerum natura, ut, quò major vis aquæ se incitavisset, hòc arctiùs illigata tenerentur.

Traduction.

Ce pont fut construit de cette manière : on prenait deux pièces de bois d'un pied et demi de grosseur, dont le bout inférieur était un peu taillé en pointe; ces pièces ou pieux avaient une longueur proportionnée à la profondeur du fleuve. On les plaçait à deux pieds de distance l'un de l'autre. Après les avoir descendus dans le fleuve, on les enfonçait avec des machines. Ces pieux n'étaient pas dirigés d'aplomb, mais inclinés dans le sens du courant et réunis par le haut au moyen d'une pièce placée dessus; à quarante pieds de distance dans la direction du courant, on plaçait deux autres pieux, réunis de même et inclinés en sens contraire, pour mieux résister à la force et à l'impétuosité du fleuve.

Sur ces doubles pieux on plaçait des poutres de deux pieds de grosseur, assez longues pour poser sur les pièces qui réunissaient

les doubles pieux, où elles étaient arrêtées par des boulons. La fermeté et la nature de cet assemblage soutenu par des pièces inclinées en sens contraire était si grande, que la plus grande violence de l'eau contribuait à le resserrer avec plus de force.

Hæc directâ materiâ injectâ contexebantur, ac longuriis, eratibusque consternebantur.

Après avoir fixé solidement ces espèces de fermes de charpente, on plaça dessus, de l'une à l'autre, de grandes solives recouvertes par des claies pour former un chemin.

Ac nihilo seciùs sublicæ ad inferiorem partem fluminis obliquæ adigebantur, quæ pro ariete subjectæ, et cum omni opere conjunctæ, vim fluminis exciperent et aliæ item suprà pontem mediocri spatio; ut si arborum trunci, sive naves dejiciendi operis causâ, essent à barbaris missæ, his defensoribus earum rerum vis minueretur, neu ponti nocerent. Diebus decem quibus materia cœpta erat comportari, omni opere effecto, exercitus transducitur.

Du côté d'aval on ajouta des pieux inclinés en contre-fiche pour soutenir tout l'ouvrage contre la force du courant.

On plaça encore d'autres pieux du côté d'amont, à une médiocre distance du pont, pour le garantir du choc des troncs d'arbres ou des bateaux que les barbares auraient pu lâcher au courant de l'eau. L'armée passa sur ce pont dix jours après qu'on eut commencé à apporter les bois pour le construire.

Léon-Baptiste Alberti Palladio, Scamozzi, et d'autres auteurs, ont donné la figure et les détails de ce pont. La figure 1 de la planche CXXXVIII indique celle que lui donne Alberti; on voit qu'il n'arrête les poutres avec les doubles pieux qu'avec des liens de corde,

moyen qui nous paraît insuffisant; nous pensons que par les mots du texte *binis fibulis*, il faut plutôt entendre deux boulons que deux liens de cordage.

La figure 2 est celle que Palladio donne à ce pont. Il fixe les poutres avec les doubles pieux par de petites moises assemblées à moitié bois. Ce moyen, qui est fort ingénieux, ne présente pas encore une solidité suffisante; ces moises n'auraient pas été assez fortes pour résister à l'effort qu'elles devaient soutenir : nous ne croyons pas que ce puisse être ce que l'auteur des Commentaires exprime par *binis fibulis*.

Scamozzi, indépendamment des entretoises qui réunissent les pieux et qui soutiennent les poutres, ajoute de doubles liens de cordages, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 3. Dans quelques exemplaires de la traduction des Commentaires de César par Perrot d'Ablancourt, on a représenté les pieux inclinés qui soutiennent les poutres, reliés par plusieurs entretoises figurées dans leur hauteur; ce moyen me paraît justifié par le texte, qui semble dire que ces pieux, réunis à deux pieds de distance, étaient placés dans le fleuve avec des machines faites exprès, *machinationibus*. Le texte m'autorise encore à croire que les poutres et les pieux étaient réunis par deux boulons de fer, *binis fibulis*, ainsi que je l'ai exprimé dans ma traduction. Ces boulons, joints aux entretoises disposées comme l'indique Palladio, étaient susceptibles de procurer à cette espèce d'assemblage une fermeté que la force du courant ne pouvait qu'augmenter, ainsi que l'indique le texte. Il reste cependant une expression du texte qui n'est pas rendue. Il est dit que les pieux n'étaient pas enfoncés directement selon la

perpendiculaire, *sed prona ac fastigiata.* Ces mots paraissent indiquer une double inclinaison, l'une désignée par *prona*, selon le courant du fleuve, l'autre par *fastigiata*, en sens contraire l'un de l'autre, comme les pentes d'un fronton (*fastigium*). Cette disposition indiquée par la figure 5 donnerait à cet assemblage de pieux encore plus de force et de solidité.

Pont de Trajan sur le Danube, planche CXXXIX.

La construction de ce pont, représentée par la figure 1, est tirée des bas-reliefs de la colonne Trajane. On voit qu'il est composé d'arches en bois, élevées sur des piles en pierre de taille. La disposition des pièces de bois qui forment la charpente de ce pont est combinée de la manière la plus avantageuse pour faire un pont solide et durable. Le cintre des arches est formé par trois rangs de courbes concentriques réunies par des moises. Les parties au-dessus des piles en pierre sont composées de deux espèces de chevalets, dans lesquels s'emmanchent les courbes. Les solives qui forment le plancher du pont sont en travers et posent sur une sablière générale qui termine la charpente des arcs et des piles. Le garde-fou est composé de poteaux aplomb, réunis par des croix de Saint-André et par deux sablières, dont une forme appui.

Dans cette combinaison de charpente, on désirerait seulement que les espèces de doubles chevalets qui forment les retombées des arcs au-dessus de chaque pile, fussent fortifiés comme nous l'avons indiqué pour la pile marquée A.

Ponts de bois de Palladio, planche CXL.

Cet architecte célèbre donne, dans son Traité d'Architecture, quatre dessins de ponts de charpente d'une seule arche, qui sont fort bien combinés.

Le premier, représenté par la figure 1, a été exécuté sur une rivière ou torrent appelé *Cismone*, au pied des Alpes, entre les villes de Trente et de Bassano. Il est divisé dans sa longueur, qui est de près de 17 toises ou 102 pieds, en six travées égales, par six poutrelles D de 12 pouces de grosseur, disposées selon la largeur du pont; elles paraissent soutenues en l'air, et portent les solives placées selon la longueur, pour former avec les madriers cloués en travers par-dessus le plancher du pont. Cette construction, qui présente une hardiesse merveilleuse, est soutenue par des armatures de charpente qui forment les côtés extérieurs du pont.

Ces armatures sont composées chacune de trois grandes pièces de bois, dont deux B, B, inclinées en sens contraire, soutiennent celle du milieu. A fig. 1.

L'intérieur est fortifié par trois petites fermes, qui ont pour entrait des sablières des deux côtés extérieurs du pont, selon sa longueur. Ces fermes, et l'armature qui les renferme, soutiennent des poinçons C, auxquels sont suspendues les poutrelles qui divisent la longueur du pont en six travées, au moyen d'étriers de fer solidement arrêtés aux extrémités de chacune de ces poutrelles.

Il est bon d'observer que ces armatures, formant parapets, sont capables de soutenir un poids considérable sans fléchir, tant par leur hauteur qui est d'environ 15 pieds, que

par la disposition des pièces, solidement assemblées les unes avec les autres, et formant partout des triangles qui ne sont pas susceptibles de changer de forme.

Deuxième pont du dessin de Palladio, figure 2.

Ce pont est soutenu, comme le précédent, par les armatures de charpente qui forment les deux côtés du pont. Sa longueur est divisée en huit travées par des poutres transversales D, D, suspendues par leurs extrémités avec des étriers de fer à des poinçons C, C, assemblés par le haut avec des pièces de niveau parallèles à la sablière du bas. Celui du milieu est arcbuté par deux contre-fiches E, E, et les autres par une seule contre-fiche parallèle à celle qui contre-bute le poinçon du milieu du même côté.

Cette combinaison ne présente pas un assemblage aussi solide que la précédente. La partie du milieu est beaucoup trop longue pour les contre-fiches des extrémités: c'est probablement pour obvier à cet inconvénient, qu'il propose de doubler les sablières du bas, en sorte que les premières travées contiennent quatre largeurs F; les secondes trois largeurs, et les troisièmes deux, tandis que les deux travées du milieu n'ont qu'une largeur; cependant ce serait celles qui auraient le plus besoin d'être fortifiées. Il vaudrait beaucoup mieux doubler ces sablières en épaisseur qu'en largeur, comme nous l'avons indiqué dans la partie marquée B.

La figure 3 indique un autre dessin de Palladio; l'armature forme en dessus une partie de polygone à cinq côtés, avec quatre poinçons contre-ventés par de doubles

contre-fiches en croix de Saint-André; les pièces B formant les côtés des extrémités des polygones sont doublées. De plus, les premières travées sont soutenues en dessous par des contre-fiches. Les poutres transversales sont suspendues aux poinçons par des étriers de fer comme celles des exemples précédens.

La figure 4 représente la quatrième manière proposée par Palladio; les armatures des parapets de ce pont forment une espèce de voûte ou de cintre composé de voussoirs en bois exprimés par les poinçons, reliés par de doubles contre-fiches en croix de Saint-André; les sablières et les pièces de dessus formant appuis. Les poutrelles qui soutiennent le plancher du pont sont suspendues aux poinçons par des étriers de fer comme dans les exemples précédens. Ces poutrelles, à diamètre égal entre les culées, peuvent être moins grosses ainsi que les solives, la longueur du pont étant divisée en onze travées; et le parapet, qui a pour hauteur la longueur d'une de ces travées, est moins élevé.

Il faut remarquer que dans la fig. 1, la hauteur du parapet est environ le $\frac{1}{7}$ de la longueur du pont entre les culées; que dans la figure 2 elle est le $\frac{1}{10}$; dans la fig. 3 le $\frac{1}{9}$, et dans la fig. 4, moins d'un douzième.

La disposition représentée par la figure 3 est celle qui me paraît la plus solide et la mieux combinée; celle représentée par la figure 2 est la moins solide. Quant à la figure 4, elle a plus de solidité apparente que réelle, parce qu'elle présente une combinaison plus susceptible de varier dans ses assemblages, à cause de la compression, de l'élasticité et du desséchement auxquels le bois est sujet. De plus, les voitures chargées tendent, en

montant et en descendant, à comprimer alternativement la partie où elles se trouvent, et à faire relever celle opposée. Ce mouvement détruit avec le temps la fermeté des assemblages. La combinaison de la figure 3 joint à l'avantage que peut procurer un arc de cercle, celui d'un plancher en ligne droite, en réunissant les sablières du parapet avec l'entrait; cet assemblage forme un polygone, qui est retenu par sa corde de manière à ne pas pouvoir changer de forme et à conserver plus de fermeté dans les assemblages.

Il est à propos de faire attention que les quatre combinaisons dont il vient d'être question, ne peuvent convenir que pour des ponts de 14 à 15 pieds de largeur. Ceux au-dessus exigeraient des fermes intermédiaires pour soutenir la portée des poutres transversales.

Pont de Bassano.

Palladio donne les dessins d'un autre pont de charpente qu'il fit construire sur la rivière de Brenta, près de Bassano. La figure 5 représente l'élévation latérale de ce pont, dont la largeur est de 26 pieds; sa longueur est divisée en cinq arches de chacune 34 pieds 6 pouces; elles sont séparées par des piles formées d'une seule file de pieux, avec avant et arrière-bec, comme on le voit indiqué par le plan, figure 7. Ces pieux, qui sont au nombre de huit, ont trente pieds de haut sur un pied et demi de grosseur, éloignés l'un de l'autre de deux pieds; ils sont recouverts par le bas avec des madriers; par le haut, ils sont entretenus par deux rangs de moises. Au-dessus de celle du haut et aplomb de chaque pieux,

sont posées de grandes poutres qui vont d'une pile à l'autre. Ces poutres sont soutenues dans leur portée par des contre-fiches ou liens E inclinés en sens contraire, qui butent par le haut contre une pièce qui double les poutres dans le milieu. La longueur de ces pièces G est égale à la moitié de la distance comprise entre les piles; les liens sont inclinés à 45 degrés.

Ces espèces d'armatures, qui sont placées sous chaque poutre, permettent de donner au pont la largeur que l'on veut. Le plancher de ce pont est formé par des solives posées en travers, recouvertes avec des madriers cloués sur les solives dans le sens de la longueur. La figure 6 fait voir la coupe de ce pont sur la largeur avec le profil des avant et arrière-becs.

Cette combinaison simple a toute la solidité nécessaire pour des arches ou travées de 30 à 36 pieds de largeur; elle a été imitée avec succès pour plusieurs ponts modernes, dont les arches sont de cette grandeur.

Le dessus du pont de Bassano forme une galerie couverte soutenue par des colonnes, ainsi qu'on le voit représenté par les figure 5 et 6.

Il résulte des exemples que nous venons de citer, qu'il y a deux moyens principaux de fortifier le plancher d'un pont; l'un en plaçant les armatures en dessus, et l'autre en les plaçant dessous.

Dans le premier cas, comme les armatures ne peuvent être placées qu'aux deux côtés du pont pour laisser le chemin libre dans le milieu, sa largeur se trouve bornée.

Dans l'autre cas, comme on peut multiplier le nombre des armatures sans gêner le dessus, ils peuvent avoir la largeur et la force que l'on veut.

Les figures 1, 2 et 3 de la planche CXLI représentent l'élévation latérale, le plan et la coupe d'un pont couvert à l'imitation de celui de Palladio. Il devait être placé sur la Seine à Paris, à la place du pont des Arts; il comprend dans sa longueur trois arches ou travées de chacune dix toises d'ouverture, élevées sur des piles en pierre; sa largeur, qui est de 26 pieds, comme celle du pont de Bassano, est soutenue par cinq fermes, dont deux doubles formant les faces extérieures, à cause du poids de la couverture et des arcades qu'elles soutiennent. La charpente de ce pont, que j'avais projeté pour une compagnie, est combinée assez solidement pour le passage des voitures. Les contre-fiches ou arbalétriers, qui se prolongent en dessus, augmentent beaucoup la force de l'assemblage des fermes.

Pont de Schaffhouse de 355 *pieds* 7 *pouces de longueur, entre les culées, sur* 15 *pieds* 6 *pouces entre les fermes de rive, construit sur le Rhin en* 1770 *et* 1771, *par Jean-Ulric Grubenmann, charpentier.*

On a réuni quelquefois les armatures de dessus et de dessous pour soutenir des travées de ponts de charpente d'une grande portée, telles que celles du fameux pont de Schaffhouse. Ce pont, représenté par les fig. 1, 2, 3, 4 de la planche CXLII, est composé de deux grandes arches, dont une a 189 pieds 11 pouces, et l'autre 163 pieds 8 pouces, séparées par une pile en pierre; il forme une galerie couverte par un comble en mansarde.

Les sablières qui terminent la largeur du plancher du pont sont formées de deux rangs de fortes pièces

assemblées en crémaillère, fortifiées en dessous, ainsi que le plancher, par quatre rangs de contre-fiches de chaque côté, et qui se continuent en dessus dans la hauteur de la galerie. Toutes ces contre-fiches, et celles qui répondent au-dessus de la pile du milieu et des culées, sont entretenues et réunies par des moisesdoub les et perpendiculaires, qui montent jusque sous les sablières de l'espèce de toit à la mansarde qui couvre le pont.

Les poutres transversales qui forment le plancher du pont sont suspendues par les doubles moises verticales dont il vient d'être parlé, qui embrassent leurs extrémités; il s'en trouve d'intermédiaires, arrêtées à la double sablière du bas, assemblées à crémaillère. Toutes ces poutres sont entretenues en dessus par de grandes pièces ou longrines qui se croisent en losange. On a aussi fait usage de longrines pour relier la charpente du toit.

Pour réunir avec plus de force les sablières du bas et les contre-fiches des extrémités de chaque grande travée formant les arches, on a ajouté quatre forts tirans de fer inclinés en sens contraire des contre-fiches. De plus, on a doublé la sablière du haut au droit de la pile du milieu et au-dessus des 3e. et 4e. divisions, à partir des culées et de cette pile. Cette sablière est triplée vers le milieu des arches.

Dans l'épaisseur du comble, on a encore formé, au-dessus du faîtage, une armature avec une sablière double par le bas, assemblée en crémaillère; on a ajouté des contre-fiches et des pièces qui doublent le faîtage dans les trois divisions des extrémités, qui le triplent dans les deux divisions suivantes, et qui le quadruplent dans la division du milieu.

Tous ces moyens, imaginés pour empêcher la charpente de fléchir vers le milieu des arches, sont bien combinés et ont parfaitement réussi.

Il faut remarquer que les bouts des contre-fiches butent contre des tasseaux solidement arrêtés avec des boulons, ainsi que les joints des pièces assemblées à trait de Jupiter, les moises d'aplomb et les doublures.

Pour donner plus de roideur à la double sablière du bas, assemblée à crémaillère, on a mis un coin à chaque redan.

Le plancher du pont est formé par un double rang de madriers, dont le premier est cloué sur les longrines, et l'autre en travers sur les premiers. Enfin, comme ce pont est fort étroit pour sa longueur, et qu'il présente au vent une face considérable, afin de lui donner plus de force et de stabilité, au lieu de le faire en ligne droite d'une culée à l'autre, on lui a fait faire un angle, en avançant la pile du milieu d'environ deux toises du côté du courant.

Grubenmann avoit d'abord combiné la charpente de ce pont pour ne former qu'une seule arche, mais on le força à construire une pile dans le milieu. Il fut exécuté avec tant de précision et de solidité, que le milieu se soutenait à 18 pouces au-dessus de la pile. Ce ne fut que quelques années après qu'il eut éprouvé tout le tassement dont il était susceptible, qu'il fut réuni à la pile tel qu'il est représenté par les figures 1 et 3.

Ce pont, qui, par sa hardiesse et sa belle exécution, passait pour un chef-d'œuvre de charpente, fut brûlé lors de la mémorable campagne de l'an 7 (1800), après avoir existé solidement pendant trente ans.

On trouve, dans le recueil de M. Krafft, plusieurs autres ponts construits en Suisse et en Allemagne; mais ils ne me paraissent pas aussi bien combinés que celui de Schaffhouse.

Nous en citerons cependant un autre, remarquable par sa simplicité, tiré du même recueil. Il a été construit en bois de sapin dans les environs de Berne, par un maître charpentier, nommé Ritter, en 1764.

Ce pont, représenté par la planche CXLIII, est fort élevé au-dessus de la rivière, et n'est formé que d'une seule arche de 26 toises entre les culées, sur 2 toises $\frac{1}{2}$ de largeur; mais il a l'avantage de pouvoir être soutenu en dessous par de grandes contre-fiches qui vont jusqu'au milieu du pont, où elles se réunissent à une pièce qui double le milieu, et par d'autres qui se prolongent jusque sous les sablières qui portent le comble de la galerie du pont; les contre-fiches sont entretenues par de doubles moises aplomb, qui montent aussi jusque sous la sablière du comble, et par des croix de Saint-André qui relient celles d'un côté avec celles de l'autre. Elles posent par le bas sur des retraites pratiquées aux murs des culées.

Le plancher va en pente jusqu'aux deux travées du milieu, où il est plus élevé de 3 pieds $\frac{1}{4}$ que dans les bouts. Les armatures qui forment les côtés et le toit suivent la même pente. Cette disposition augmente leur résistance et la solidité du pont.

De la combinaison des pièces de bois pour les ponts de charpente.

Nous avons dit, en commençant cet article, qu'on pouvait considérer les ponts comme de forts planchers

dont les solives sont soutenues par des poutres qui portent sur des piles de charpente ou de maçonnerie.

Nous avons ci-devant indiqué, pag. 143 et 147, une manière de fortifier les poutres pour des planchers ordinaires, qui doivent être libres en dessus et en dessous; mais ce moyen serait insuffisant pour des ponts, à cause de la charge et de la grande portée des pièces qui tiennent lieu de poutres.

Dans les ponts, comme dans les bâtimens, la force des planchers augmente ou diminue en raison du rapprochement ou de l'éloignement des poutres, ou fermes d'assemblage qui en tiennent lieu. Nous avons ci-devant fixé l'épaisseur verticale des poutres pour les planchers des bâtimens à la dix-huitième partie de la distance entre les appuis; mais comme la charge des planchers des ponts est beaucoup plus grande que celle des planchers des bâtimens, et que de plus cette charge est mobile, il faut, pour les parties des pièces horizontales qui tiennent lieu de poutres, une plus forte épaisseur; elle peut être fixée à la dixième partie entre les appuis ou parties soutenues.

La mobilité de la charge des ponts fait qu'elle se trouve successivement sur tous les points de leur longueur, qui doivent partout opposer une même résistance. Il peut même se trouver des circonstances où une suite continue d'hommes, de chevaux ou de voitures, les charge en même temps dans tous les points de leur longueur. C'est ce cas extrême qu'il est à propos d'examiner, si l'on veut éviter les accidens qui sont arrivés à plusieurs ponts par une charge extraordinaire.

Pour se faire une idée de la charge que pourrait occa-

sioner une foule, il faut savoir qu'il peut se trouver vingt-quatre personnes réunies sur une toise superficielle, lesquelles, au poids moyen de 125 livres chaque, produiraient une charge de trois milliers. Sur une même superficie il ne peut se trouver que deux hommes à cheval, lesquels, estimés à raison de 750 livres, produiraient pour une toise 1500 livres, c'est-à-dire une charge moitié moindre que celle que pourrait produire une foule de gens à pied. Il est difficile d'évaluer le poids d'une voiture par le nombre des chevaux qui la traînent, parce qu'elle dépend de la force des chevaux, qui varie beaucoup, et de la volonté de celui à qui ils appartiennent, qui les ménage plus ou moins. Cependant, on ne peut pas errer beaucoup en évaluant, à raison de 1500 livres par cheval, le poids et la charge d'une voiture; ce qui donne, pour une voiture traînée par quatre chevaux, un poids de six milliers. Il est vrai qu'une pareille voiture occupe une superficie d'environ sept toises; mais il faut observer que la charge qu'elle occasione, indépendamment des chevaux, tombe sur les deux points où posent les roues, qui peuvent se trouver au milieu de la portée d'une pièce de 10 à 12 pieds : ce qui double, pour ce point, la charge que pourrait occasioner la foule, quoique la totalité de la charge du pont puisse être beaucoup moindre que celle causée par une grande réunion d'hommes ou de chevaux.

On démontre, en mécanique; que l'effort d'un poids placé au milieu d'une barre posée horizontalement sur deux appuis, est égal à celui de plusieurs poids distribués dans sa longueur, dont la somme serait double. Il résulte de cette propriété un moyen facile de trouver

la charge et la résistance de tous les points des pièces de bois horizontales qui soutiennent les solives des planchers des ponts.

Observations préliminaires.

Lorsqu'une poutre comme A B, figure 2, planche CXXIX, n'a pas assez de force pour se soutenir sans plier, on peut placer sous le milieu un étai d'aplomb D E, qui diminue sa portée de moitié; mais si ce moyen n'est pas praticable, on peut y suppléer par des pièces inclinées en sens contraire D F, D C, qui se réunissent au milieu D, figure 3.

Si les intervalles entre le milieu et les points d'appui sont encore trop grands, il est facile de les soutenir par le milieu, par d'autres pièces inclinées G H, I K, fig. 4.

Supposant les pièces de bois inclinées assez fortes pour soutenir la poutre A B, aux points G, D et I, avec les poids dont ils peuvent être chargés, il faut encore que les parties A G, G D, D I et I B, puissent soutenir ces mêmes poids dans leur milieu L, M, N, O. Si ces parties ont chacune 12 pieds de longueur, et que les poids L, M, N, O soient de 8 milliers, en multipliant le poids par la longueur réduite en pouces = 144, et divisant le produit par 7848, qui est la force primitive pour un pouce carré, on trouvera pour quotient 146, dont la racine 12 indique la hauteur verticale de la pièce sur 10 pouces de largeur.

Quant aux contre-fiches ou pièces de bois inclinées, il est évident qu'elles doivent porter le même poids que les milieu L, M, N, O : car le point G doit soutenir la moitié de L, plus la moitié de M. Le point D doit

porter l'autre moitié de M. et la moitié de N. Le point I doit porter l'autre moitié de N, et la moitié de O. Il est encore facile de faire concevoir que la force des contre-fiches G H, F D, doit diminuer en raison de leur longueur et de leur inclinaison; et que ces pièces étant également inclinées, leur force sera en raison inverse de leur longueur, c'est-à-dire que D F, dont la longueur est double de H G, ne doit avoir que la moitié de sa force, en sorte que les deux contre-fiches D F, D C ne soutiendront pas avec plus de force le milieu D, que les petites contre-fiches H G, I K soutiendront les points G et I. Les poids à soutenir aux points G, D, I, étant supposés de 8 milliers, on trouvera, d'après les principes et les règles ci-devant expliqués, page 123, qu'une pièce de bois de 6 pouces en carré de grosseur, suffirait pour soutenir cet effort. Mais il faut rappeler ici ce que nous avons dit relativement aux cintres de charpente, que les grosseurs des pièces de bois ne doivent jamais avoir moins de la vingt-quatrième partie de leur longueur, parce que leur force ne doit pas seulement être en rapport avec le poids particulier qu'elles ont à soutenir, mais de plus avec l'ensemble général, pour lui procurer une stabilité suffisante et résister à la masse des efforts mis en mouvement, et obvier aux imperfections qui peuvent se trouver dans les matières et la main d'œuvre. La longueur des contre-fiches H G, I K étant de 17 pieds, leur moindre épaisseur doit être de 8 pouces $\frac{1}{2}$. Quant aux grandes contre-fiches F D, D C, il est à propos, pour les empêcher de fléchir, de les soutenir dans leur milieu par une moise verticale ou horizontale H P et I P.

On peut diminuer la longueur et l'inclinaison des contre-

ſiches du milieu, en les faisant buter contre une pièce qui double le milieu de la pièce horizontale qui porte les solives. Ce moyen fait qu'on peut donner à cette partie du milieu une portée double, ainsi que le représente la ſigure 5. Palladio l'a employé avec succès pour son pont de Bassano, représenté par les ſigures 5, 6, 7 de la planche CXL.

Lorsque la distance entre les piles est fort grande, on peut augmenter la portée de la partie du milieu, en lui donnant trois épaisseurs, et faisant celle des parties ensuite double, et celle près des piles d'une seule épaisseur, ainsi qu'on le voit représenté par la ſigure 6, planche CXXXIX.

Pour proportionner la longueur des travées à ces épaisseurs, on divisera l'espace entre les piles en 9 parties égales. On en donnera une pour les parties près des piles, répondant à une seule épaisseur. On fera la longueur de celles ensuite de deux parties, et on donnera trois parties pour la travée du milieu, qui répond aux trois épaisseurs.

Ainsi, pour une distance de 90 pieds entre les piles, les travées des extrémités auront 10 pieds; celles ensuite, 20 pieds; et la travée du milieu, 30 pieds.

Supposant le pont destiné pour le passage des grosses voitures, le plus grand poids que puisse avoir à porter la partie du milieu, en prenant 6 pieds pour l'espace entre chaque ferme, ne saurait être au-dessus de 20 milliers, à cause de la longueur qu'occupe une voiture avec les chevaux qui la traînent. Cette charge de 20 milliers, distribuée également sur une longueur de 30 pieds, équivaut pour l'effort à un poids de 10 milliers placé au milieu.

Règle facile pour déterminer la force des pièces de bois horizontales et leur grosseur, en raison de la charge qu'elles doivent soutenir.

Il résulte de tout ce que nous avons ci-devant expliqué, que l'opération se réduit à multiplier la force moyenne du bois pour un pouce ou une ligne carrés, par le carré de l'épaisseur verticale de la pièce; et à diviser le produit par sa longueur : ainsi, en indiquant la force moyenne pour un pouce carré par f, l'épaisseur verticale par h, la longueur par l, et la charge que la pièce pourrait porter par p, on aura, pour toutes les pièces horizontales, telles que les poutres et les solives, la formule $\frac{f\,h\,h}{l} = p$, d'où l'on tire $h = \sqrt{\frac{p\,l}{f}}$, qui indique les opérations à faire; c'est-à-dire que pour trouver l'épaisseur verticale à donner à une pièce de bois dont la longueur et la charge sont connues, il faut prendre la racine carrée du produit du poids par la longueur de la pièce réduite en pouces, divisé par la force moyenne du bois pour un pouce carré.

Ainsi, pour trouver l'épaisseur verticale qu'il faudrait donner à la poutre ou assemblage de pièces de bois horizontales formant la travée du milieu de la ferme de pont précédente, dont la portée est de 30 pieds, et la charge à soutenir dans son milieu de 10000, les opérations indiquées par la formule $h = \sqrt{\frac{p\,l}{f}}$ donneront $h = \sqrt{\frac{10000 \times 30 \times 12}{7200}}$, qui se réduit à $h = \sqrt{500}$, et enfin à $h = 22$ pouces $\frac{4}{10}$.

Il résulte de ce calcul que, si l'on pouvait compter sur la perfection de la matière et de la main d'œuvre, une planche de chêne de 22 pouces $\frac{4}{10}$ de largeur sur 1 pouce d'épaisseur, posée de champ, pourrait faire équilibre, avant de se rompre, à un poids de 10 milliers placé au milieu de sa longueur. Mais, comme nous l'avons déjà dit, il faut, pour procurer aux pièces de bois la solidité et la stabilité qui convient, leur donner une force décuple de celle qui les fait rompre. Un moyen infiniment simple de leur procurer cette solidité consiste, après avoir calculé, comme nous venons de faire, pour un pouce de base ou de largeur horizontale, à leur donner 10 pouces de base : ainsi, pour le cas dont il s'agit, on prendra, au lieu d'une planche d'un pouce d'épaisseur posée de champ, une pièce de bois de 22 pouces $\frac{4}{10}$ d'épaisseur verticale sur 10 pouces de largeur horizontale.

Pour l'épaisseur des poutres ou pièces horizontales de 20 pieds de portée des travées qui joignent celle du milieu, dont la plus grande charge au milieu peut être de 6667 livres, la formule donnera $h = \sqrt{\frac{6667 \times 20 \times 12}{7200}}$, qui se réduit à $h = \sqrt{222}$, et enfin à $h = 15$; c'est-à-dire que l'épaisseur verticale doit être de 15 pouces sur 10 pouces de largeur de base.

La même formule donnera, pour les pièces horizontales des travées des extrémités, dont la longueur est de 10 pieds, et la charge au milieu de 3334, $h = \sqrt{\frac{3334 \times 10 \times 12}{7200}}$ qui se réduit à $h = \sqrt{55}$, qui donne 7 pouces $\frac{1}{2}$ pour l'épaisseur verticale, sur 10 pouces de largeur de base.

Application de la même formule aux bois inclinés.

La force des pièces de bois inclinées qui soutiennent la portée des poutres ou pièces horizontales d'une longueur extraordinaire, doit être, à grosseur égale, proportionnée à leur longueur, comparée à la ligne horizontale qui mesure leur inclinaison, en sorte qu'une pièce de bois à grosseur et longueur égales est d'autant plus forte, qu'elle approche plus d'être verticale, ainsi que nous l'avons ci-devant indiqué, page 123; d'où il résulte que, dans la formule $h = \sqrt{\frac{p\,l}{f}}$, l, au lieu de représenter la longueur de la pièce, indique celle de la ligne horizontale qui mesure son inclinaison. Cela posé, la charge des grandes contre-fiches qui soutiennent les bouts des pièces horizontales qui forment la travée du milieu, et ceux des pièces qui forment les travées ensuite, sera pour chacune égale à $10000 + 6667$ ou 16667.

La ligne horizontale qui mesure l'inclinaison de ces contre-fiches étant de 30 pieds, la formule donnera $h = \sqrt{\frac{16667 \times 30 \times 12}{7200}}$, qui se réduit à $h = \sqrt{833,35}$, et enfin à $h = 28\,\frac{9}{10}$, c'est-à-dire, à près de 29 pouces pour leur épaisseur verticale indiquée dans la figure par $c\,b$, qui donne, pour celle perpendiculaire à la pièce indiquée par $a\,c$, 20 pouces $\frac{3}{10}$, en supposant ces pièces isolées dans toute leur longueur, qui est de 43 pieds; mais en les supposant reliées par la moitié de leur longueur par une moise, comme l'indique la figure 6, l'application de la formule donnera $h = \sqrt{\frac{16667 \times 15 \times 12}{7200}}$, qui se réduit à

$h = \sqrt{416,67}$; et enfin $h = 20 \frac{4}{10}$ pour l'épaisseur verticale, et 14 pouces $\frac{2}{10}$ pour celle perpendiculaire à leur direction.

On trouve l'épaisseur perpendiculaire à la direction de la pièce, lorsqu'on connaît l'épaisseur verticale, par une proportion dont les deux premiers termes sont la longueur de la pièce et la ligne horizontale qui mesure son inclinaison; le troisième terme est l'épaisseur verticale trouvée par la formule : ainsi, dans le cas où la pièce précédente serait isolée dans toute sa hauteur, on aurait 43 : 30 : : 29 est à un quatrième terme, qui donne 20 pouces $\frac{2}{10}$ pour l'épaisseur perpendiculaire à la direction.

Pour la pièce divisée en deux par une moise, la proportion sera 43 : 30 : : 20 $\frac{4}{10}$ est à un quatrième terme, qui est 14 pouces $\frac{2}{10}$.

Observations.

Il est très-essentiel de remarquer que ce qui contribue le plus à la solidité d'un ouvrage de charpente, comme de tout autre, c'est la forte réunion des pièces dont il se compose. On peut dire que les plus solides sont ceux dont les parties sont jointives ou fortement réunies par des surfaces continues. Deux rangs de fortes planches ou madriers qui se joignent et qui se croisent, fortement arrêtés sur les solives, peuvent doubler la solidité d'un plancher sans augmenter beaucoup la dépense, en mettant des solives moins grosses ou plus espacées.

L'exemple ci-devant cité des planchers hollandais, composés de planches sans solives, en est une preuve.

Au lieu de fermes composées de pièces isolées qui ne se réunissent qu'à leurs extrémités, on pourrait, en certains cas, en former avec des pièces jointives, dans le genre de celles représentées par les figures 7 et 8. Ces fermes, indépendamment de leur plus grande force, exigeraient beaucoup moins d'élévation, avantage qui peut devenir précieux en certaines circonstances.

Les fermes de ce genre doivent être combinées de manière à avoir partout une même résistance, relativement à la plus grande charge qu'elles peuvent avoir à soutenir : ainsi, pour une ferme de 90 pieds de portée, comme celle dont il vient d'être question, nous avons déjà fait voir que la plus grande charge de cette ferme, en supposant qu'elle réponde à une toise de largeur, sera de trois milliers par toise superficielle. Sa portée, étant de 90 pieds ou 15 toises de longueur, cette charge serait de 45 milliers.

Pour trouver l'épaisseur à donner à chaque point, on a divisé sa longueur en 12 parties égales, et on a cherché d'abord l'épaisseur des deux parties du milieu H I K, par le moyen de la formule $h = \sqrt{\frac{p\,l}{5}}$, qui donnera $h = \sqrt{\frac{7500 \times 90}{7200}}$, qui se réduit à $h = \sqrt{93,75}$, dont la racine donne $h = 9\frac{7}{10}$.

Pour les quatre divisions du milieu C H I h g dont la charge est 15000, la formule donnera $h = \sqrt{\frac{1500 \times 180}{7200}}$, qui se réduit à $h\sqrt{375}$; et enfin à $h = 19\frac{4}{10}$.

Les six divisions du milieu comprises entre F et f soutiennent une charge de 22500, ce qui donne $h = \sqrt{\frac{22500 \times 270}{7200}}$, qui se réduit à $h = 29$.

Pour huit divisions $h = 38, 75$.

Pour dix $h = 48, 4$.

Et pour douze $h = 58$.

Toutes ces pièces auront 10 pouces de largeur de base.

Il est aisé de voir que l'épaisseur du milieu étant déterminée, elle augmente en proportion arithmétique pour les autres, en sorte que cette ferme peut être composée de pièces de même grosseur, posées en saillie les unes sur les autres, et arrêtées par des moises à chaque division.

Ces moises, ainsi que la place des pièces où elles s'appliquent, peuvent être taillées en dents de scie; comme l'indique la fig. 8.

On peut faire disparaître les redents en dessous, en y appliquant des fourrures triangulaires. Au lieu de deux surfaces droites qui forment un angle, on pourrait y substituer une surface courbe en arc de cercle, comme l'indique la figure 7.

Ces fermes peuvent encore être combinées comme la figure 9, avec des pièces inclinées en dessous et des pièces horizontales au-dessus, reliées de même avec des moises boulonnées et assemblées à crémaillère. Comme la longueur des pièces peut être en plusieurs morceaux, ces combinaisons n'exigent pas des bois d'une grosseur extraordinaire. Il ne faut que des pièces de 12 à 18 pieds de longueur sur 9 à 10 pouces de grosseur.

Lorsque les ponts en charpente doivent être composés de plusieurs arches, on les soutient ordinairement par des piles en bois, et quelquefois par des piles en pierre.

Les piles en bois sont composées d'une, de deux, ou de trois files de pieux, sur lesquels on élève de forts

poteaux bien entretenus et contreventés par des décharges, des moises et des sablières; mais il faut, autant qu'il est possible, préférer les piles en pierre, qui ont plus de stabilité, de force et de durée.

ARTICLE VII.

Des escaliers de charpente.

Ces escaliers se composent, comme ceux en pierre, de marches soutenues par des murs, des limons ou des noyaux, et quelquefois par leur propre coupe ou assemblage, comme dans les escaliers dont les marches se profilent par le bout.

Les escaliers sont susceptibles de beaucoup de variation dans leur disposition et dans leur plan, en raison de leur position et de la forme de la cage ou local dans lequel ils doivent être placés.

Ils peuvent être en rampes droites, pratiqués entre deux murs ou soutenus par des limons. Ces rampes peuvent tourner autour d'un ou de plusieurs noyaux, comme l'indiquent les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12; elles peuvent s'assujettir à toutes sortes de plans réguliers dont irréguliers.

Les principales difficultés qui se rencontrent dans l'exécution des escaliers, consistent dans la distribution des marches en plan, relativement à l'espace, au point de départ et d'arrivée, surtout pour les escaliers de dégagement, dont la place est souvent très-bornée.

Quel que soit le plan d'un escalier, il faut que la division des marches soit faite également sur une ligne

qui passe par le milieu des rampes. Lorsqu'il y a des parties tournantes, leur division doit se faire sur un arc de cercle qui se raccorde avec le milieu des parties droites. Dans les cages carrées ou rectangulaires, on n'a aucun égard aux parties qui sont au-delà des cercles inscrits au droit des marches tournantes. La hauteur des marches varie de 5 pouces $\frac{1}{2}$ à 6 pouces $\frac{1}{2}$, et la largeur ou giron, de 9 à 12 pouces.

Les anciens escaliers de charpente étaient presque tous tournans, avec un noyau plein et arrondi, montant de fond. Les cages dans lesquelles ils étaient pratiqués étaient rondes ou carrées, et quelquefois en polygone de 5, 6 ou 8 côtés, figures 2, 6, 9, 12.

Dans les espaces longs et rectangulaires dont la largeur pouvait contenir deux rampes, ils faisaient des escaliers à deux noyaux, réunis par des limons avec des paliers aux extrémités, figures 8 et 9. Lorsque les parties de limons n'étaient pas assez grandes pour contenir le nombre de marches nécessaires pour former une révolution sous laquelle on pût échapper, au lieu de paliers, ils plaçaient des marches tournantes, fig. 8 et 9.

Dans les cages rectangulaires qui avaient beaucoup de largeur, ils plaçaient quatre noyaux montant de fond, réunis par des limons, pour soutenir les marches qui formaient un vide ou jour au milieu, et des paliers aux angles, ou des marches tournantes si la cage était petite, figures 11 et 12.

Afin d'éviter l'inconvénient des marches tournantes, qui n'ont presque point de largeur à l'endroit où elles s'assemblent dans les noyaux pleins, les modernes ont

imaginé les escaliers à jour avec des noyaux évidés portés par des limons; on a donné à ces noyaux le nom de *quartier tournant*, ou de *quartier de vis à jour suspendu*. Par cette disposition, le dessus et le dessous des limons étant apparens dans toute leur longueur, il est nécessaire que ces surfaces et les arêtes qu'elles forment se raccordent sans plis ni jarrets, de même que l'appui de la rampe de fer qu'on place dessus.

La ligne droite, courbe ou mixte, qui forme l'arête du dessus du limon, doit, pour la régularité, être partout à une distance égale des arêtes des marches qui joignent le dedans du limon, en sorte que ces arêtes, qui déterminent la courbe du dessus du limon, doivent être disposées de manière à former une ligne qui se dirige uniformément dans toute son étendue, sans jarrets, ni plis ni coudes.

Pour y parvenir, il faut considérer que si toutes les marches d'un escalier avaient leurs largeurs et hauteurs égales, le développement de la ligne qui passe par les arêtes de ces marches serait toujours une ligne droite, et que si leur largeur varie, la ligne de développement ne peut être qu'une ligne courbe ou polygonale.

Lorsque après plusieurs marches de même largeur, par exemple de 12 pouces, il s'en trouve d'autres qui n'ont que quatre pouces, les lignes qui passent par leurs arêtes forment une ligne brisée dont il faut effacer le pli. Ainsi, dans les escaliers à deux rampes, réunis par un noyau évidé demi-circulaire, comme ceux représentés par les figures 1 et 2, pl. CXLV, les marches autour de ce noyau, ne pouvant pas avoir autant de largeur que celles

qui répondent au limon droit, il doit se former un pli à la rencontre des lignes qui passent par les arêtes de ces marches. Les charpentiers, pour faire disparaître ce pli, qui produit un mauvais effet, augmentent progressivement la largeur des marches étroites, de manière à former une courbe qui efface l'angle formé par la rencontre de deux lignes de rampe dont l'inclinaison est différente.

L'augmentation, pour former le raccordement, se prend sur les grandes largeurs des marches les plus proches des petites. Le nombre des marches à élargir doit être en raison de leur différence de largeur. Supposons, par exemple, que les petites largeurs de marches soient de 4 pouces, et les grandes de 12 pouces, on prendra 4 marches étroites et deux larges; on cherchera ensuite la différence entre six petites largeurs, avec quatre petites et deux grandes. Cette différence indiquera la somme d'une progression arithmétique, composée de six termes, qui exprimeront l'augmentation à faire aux petites largeurs pour chaque marche; exemple :

Six petites largeurs à 4 pouces font 24 pouces; mais comme pour le raccordement on doit prendre 4 petites largeurs faisant 16 pouces, et deux grandes de 12 pouces qui donnent 24 pouces, l'espace à remplir sera de 40 pouces, ce qui fait 16 pouces de plus que six petites largeurs : c'est cette différence de 16 pouces qui doit exprimer la somme de la progression arithmétique indiquée par $1+2+3+4+5+6$, dont la somme est 21. Ainsi, ayant divisé 16 pouces, au compas ou par le calcul, en 21 parties égales, on trouvera l'unité qui forme le premier terme de

cette progression de 9 lig. $\frac{1}{7}$; ce qui donne, pour la

première marche	4 pouces	+	0 pouce	9 lig.	$\frac{1}{7}$
pour la seconde	4 pouces	+	1 pouce	6 lig.	$\frac{2}{7}$
pour la troisième	4 pouces	+	2 pouces	3 lig.	$\frac{3}{7}$
pour la quatrième	4 pouces	+	3 pouces	0 lig.	$\frac{4}{7}$
pour la cinquième	4 pouces	+	3 pouces	9 lig.	$\frac{5}{7}$
pour la sixième	4 pouces	+	4 pouces	6 lig.	$\frac{6}{7}$

et pour les six marches 24 pouces + 16 pouces 0 lig. 0 c'est-à-dire 40 pouces, comme l'espace à remplir.

Ce raccordement peut encore se former par un moyen géométrique beaucoup plus simple, représenté par la figure 4, qui est un développement des parties de limon droit et courbe, qui répondent aux petites et aux grandes largeurs de marches qui ont une même hauteur; ce qui donne des lignes de rampe différentes, qui forment un angle en F. Ayant fait F 6 égal à F G, on élève des points 6 G, des perpendiculaires indéfinies aux lignes de rampes sur lesquelles ils se trouvent. Le point H, où ces perpendiculaires se rencontrent, sera le centre de l'arc de cercle qui doit former le raccordement de ces lignes de rampe.

Les lignes des hauteurs de marches, tracées sur ce développement, donneront, par leur intersection avec la courbe de raccordement, les points 1, 2, 3, 4, 5 et 6 qui indiqueront la largeur du collet des marches contre les parties de limon droit et courbe. On aura ces largeurs progressives en abaissant les perpendiculaires 6 *a*, 5 *b*, 4 *c*, 3 *d*, 2 *e*, 1 *f*, qui par ce moyen sont déterminées par *a* 5, *b* 4, *c* 3, *d* 2, *e* 1 et *f* B, qu'on portera sur le plan figure 2, en 6, 5; 5, 4; 4, 3;

3, 2; 2, 1; 1, B : de ces points et de ceux qui divisent la ligne tracée sur le milieu de la largeur des rampes, divisée en autant de parties égales qu'il doit y avoir de marches, on tirera des lignes qui exprimeront la direction et le devant de chacune.

Dans les anciens escaliers, les marches ne sont formées que par des bouts de solives ou chevrons, de 5 à 6 pouces de grosseur, posés de plat, délardés en dessous, replanis par-dessus et profilés sur le devant; ces marches étaient scellées d'un côté dans les murs ou pans de bois, et arrêtées de l'autre dans les limons. On lattait le dessous des marches pour former le plafond en plâtre; le raccordement du dessus était maçonné et carrelé au défaut des marches.

On fait actuellement les marches en bois, pleines comme celles en pierre, et on les pose à recouvrement les unes sur les autres. On les réunit fortement les unes aux autres avec des clefs et des chevilles, comme on le voit représenté par les figures 12 et 13. Ces marches sont, comme les précédentes, assemblées d'une part dans les limons, et de l'autre scellées dans les murs.

Le dessous de ces marches, formant plafond, est ordinairement ravalé en plâtre sur un lattis jointif, qui contribue à réunir les marches avec plus de solidité.

Les limons droits se tracent sur le développement; ils portent d'un côté une entaille pour recevoir les marches. La face extérieure et celle de dessus sont replanies, et ornées de moulures sur les arêtes.

Pour les limons courbes, les noyaux évidés ou quartiers tournans, on en trouve les développemens en opérant comme nous l'avons ci-devant expliqué au liv. 4, pag. 342,

à l'occasion des escaliers en pierre de taille. On forme un calibre d'après la courbe rallongée que donne l'inclinaison des pièces; ce calibre sert à former les surfaces creuses et rondes des faces intérieures et extérieures du noyau creux, quartier tournant, ou limon courbe dont il s'agit. Ces opérations sont indiquées par les fig. 8, 9, 10 et 11, où toutes les parties correspondantes sont marquées par les mêmes chiffres et les mêmes lettres, afin d'en faciliter l'intelligence.

Si le recreusement est trop considérable pour la grosseur du bois dont on peut disposer, on peut faire ces noyaux évidés ou limons, courbes en plusieurs pièces, assemblées en coupe des pierres ou à traits de Jupiter avec des clefs.

D'ailleurs, il faut, pour la solidité, que la partie de bois recreusée ne soit pas plus considérable que la partie qui reste, afin que son fil ne soit pas trop tranché.

Les fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6 de la planche CXLVI, indiquent le plan d'un escalier à jour sur un plan carré. Les limons droits sont réunis par des quartiers tournans dont la courbure est un quart de cercle. L'élévation des limons est en face de chaque rampe. La correspondance est indiquée par les mêmes chiffres et les mêmes lettres.

Il faut remarquer que, pour qu'il ne se rencontre pas deux hauteurs de marches en un même point, on a reculé le devant des marches qui forment les paliers de l'épaisseur des limons. Le raccordement des quartiers tournans avec les limons se fait comme il a été ci-devant explique, page 332.

Les bois étant sujets à se tourmenter et à se relâcher dans leur assemblage, on en réunit fortement toutes

les parties par des plates-bandes de fer entaillées de leur épaisseur sur les joints des pièces formant limon, et par de forts boulons qui les relient avec les murs et pans de bois entre lesquels ils sont renfermés.

Lorsque les noyaux recreusés qui terminent les rampes d'un escalier aboutissent à un grand palier, comme dans la figure 1, on en fait porter une partie à de fortes pièces scellées dans les murs, qu'on appelle marches palières, ainsi qu'on le voit par le détail, figures 4 et 5.

Les escaliers sans limons, dont les marches se profilent par le bout, exigent encore plus de précautions et de soins dans leur assemblage, pour ne former qu'une seule pièce. Les marches doivent être fortement réunies les unes avec les autres par plusieurs clefs dans leur longueur et au collet, ou par des boulons aux extrémités, comme l'indiquent les figures 7, 8, 9 et 10.

Le plafond au-dessous peut être fait en plâtre ou en bois; dans le dernier cas, il est à propos de former à chaque marche des saillies en recouvrement, pour éviter les fentes que pourrait produire le desséchement du bois.

On termine quelquefois le bas des escaliers par des enroulemens ou volutes, comme on le voit indiqué par la figure 1.

EXPLICATION.

Le principe de cette opération, que nous avons ci-devant expliqué au troisième livre, page 119, est que les arcs de cercle qui se joignent, doivent toujours avoir leur centre sur une même ligne.

Lorsqu'il s'agit d'une révolution complète, la somme des arcs doit être de 360 degrés; il faut de plus que les rayons diminuent dans un rapport qui donne une forme agréable.

Pour rendre cette opération plus aisée, nous avons formé la volute figure 1 de la planche CXLVII, que nous donnons pour exemple avec des arcs de 60 degrés, dont la corde, étant égale au rayon, fixe toujours la mesure.

Cette volute étant accompagnée d'une première marche qui suit le même contour, il en résulte trois spirales, deux qui terminent les arêtes du limon, et une pour la marche.

Les deux spirales du limon partent d'une même ligne perpendiculaire à sa direction, qui se trouve être le prolongement de la troisième marche.

Pour la spirale extérieure qui part du point A, on a porté la largeur du limon A B, de B en L; et, du point L comme centre, on a décrit le premier arc A C, qu'on a fixé à 60 degrés, en faisant avec le rayon A L, du point A comme centre, une section en C.

On a ensuite tiré L C.

Du même point L et L B pour rayon, on a décrit l'arc B I, qui est aussi de 60 degrés.

Comme c'est à ce point que les deux côtés se réunissent, on a déterminé sur I L un point M, qui se trouve le premier et le dernier centre d'une révolution complète de spirale, en sorte que I M est un quart de I L.

On a ensuite divisé I C, différence des rayons M C et M I, en six parties égales, pour former la diminution des rayons.

Du point M on a décrit l'arc C D, qu'on a fixé à 60 degrés, en faisant une section en D avec le rayon M C.

Ayant porté ensuite une des divisions de I C de M en 1, on a décrit de ce point 1 l'arc D E, qu'on a aussi fixé à 60 degrés, en faisant en E une section avec le rayon 1 D.

Sur la ligne 1 E, on a porté, comme ci-devant, une des divisions de I C de 1 en 2; on décrit l'arc E F qu'on a fixé à 60 degrés; par le même moyen on parvient à tracer du point 5 l'arc H I, qui se raccorde avec B I. On a achevé le contour de la spirale du point O pris au milieu de 5 M. En décrivant l'arc I K, on voit que tous les centres, à partir de M, forment un hexagone régulier, inscrit dans un cercle dont le rayon est égal à une des divisions de I C. Les côtés de ce polygone prolongés indiqueraient les points où les arcs doivent se raccorder; mais, comme ces côtés sont très-petits, l'autre manière est plus sûre.

Pour la spirale qui forme le contour de la marche qui se termine en B, on a d'abord décrit du point M un premier arc *a b*, qui se termine à la ligne M D prolongée. Ayant ensuite porté L B de M en P, on a divisé P *b* en 5 parties, dont on a porté une de M en 7; ensuite du point 7 comme centre, on a décrit l'arc *b c* de 60 degrés. Ayant tiré 7 *c*, on a porté de 7 en 8 une partie égale M 7, et du point 8 on a décrit un second arc de 60 degrés, de *c* en *d*.

Ayant fait de même 8, 9 = 7 M, on a décrit un troisième arc *d e* de 60 degrés, et on a tiré 9 *e* qui coupe B I prolongé au point 10, duquel on a décrit le dernier arc *e* B, qui, étant aussi de 60 degrés, donne *e* 10 = B 10.

Il ne suffit pas que la volute d'un escalier forme en plan un contour agréable, il faut qu'en élévation elle présente le même avantage. Pour y parvenir, il faut faire le développement de ces arêtes comme on le voit à la figure 2.

On a commencé par porter sur une ligne droite *a i* le développement de la spirale A C D E F G H I, qui forme l'arête extérieure de la volute ; ensuite, après avoir élevé aux extrémités les perpendiculaires A *a* et I *i*, on a tiré l'horizontale B S I pour indiquer la hauteur où doit se terminer le dessus de la volute. Ayant ensuite fait A *a* égale à la hauteur de deux marches, on a tiré la ligne de rampe du limon, qu'on a prolongée jusqu'à la rencontre de l'horizontale B I au point S. Ayant fait A S = S T, des points A et T, on a élevé des perpendiculaires indéfinies aux lignes A S et S T, qui se rencontrent en un point X, duquel, comme centre, on a décrit l'arc de cercle A Z T, qui forme le raccordement de la ligne de rampe R A avec la ligne de niveau T I, et le profil de l'arête extérieure développée.

Pour avoir celui de l'arête intérieure, indiqué sur le plan figure 1 par B I K, on a porté son développement sur la ligne horizontale B T, figure 3, de B en K, et on a fait le raccordement A E K, composé de deux courbes ou arcs tournés en sens contraire.

Si ce sont des arcs de cercle, leurs centres doivent être sur les perpendiculaires K L et A F, aux lignes qu'il s'agit de raccorder. Pour trouver ces centres, 1°. on a tiré la droite A K, sur le milieu de laquelle on a élevé la perpendiculaire indéfinie M N ; 2°. on a mené du point K une parallèle A X prolongée, qui rencontre M N au point E,

et on a tiré A E; 3°. sur le milieu des droites A E et E K, on élève des perpendiculaires qui rencontrent celles élevées des points A et K des lignes à raccorder, aux points F et H qui sont les centres des arcs de raccordement décrits avec les rayons A F et K H.

Ensuite, pour avoir la correspondance des courbes de ces arêtes, on a divisé la longueur de la base B T, figure 2, du développement de la grande courbe A Z T en parties égales, desquelles on a élevé des perpendiculaires; et de tous les points où elles coupent cette courbe, on a mené des parallèles à l'horizontale B T, qui rencontrent l'autre courbe A E K, en des points d'où l'on tire des verticales qui donnent sur la base B K les divisions à porter sur la courbe en plan B I K, figure 1.

De chacun de ces points, et de ceux qui ont servi pour le développement de l'autre courbe, qui sont marqués des mêmes numéros, on a tiré des lignes droites qui indiquent dans quel sens il faut placer la règle pour former le dessus du limon qui se termine en volute, et qui doit être droit et de niveau.

Pour tracer plus correctement ces courbes et ces développemens sur le bois ou sur la pierre, on peut les dessiner sur des matières flexibles, telles que du carton, du ferblanc ou de la tôle, que l'on découpe pour les appliquer sur les surfaces courbes ou droites sur lesquelles elles doivent être tracées.

La plupart des ouvriers, au lieu de former les raccordemens par des arcs de cercle, se servent de règles pliantes, qui produisent, à peu de chose près, le même effet, parce que l'adresse de l'ouvrier sauve dans l'exé-

cution les irrégularités et les mauvais effets que le procédé pourrait produire.

On parlera des petits escaliers de dégagement dont les marches sont en planches, dans la section qui traite de la menuiserie, parce que ce sont ordinairement les menuisiers qui en sont chargés.

ARTICLE VIII.

DES MACHINES A TRAINER ET A ÉLEVER LES FARDEAUX.

Du Levier.

La machine la plus simple pour mouvoir un fardeau, c'est le levier. L'effet qu'on peut produire par son moyen est proportionnel à la distance du point d'appui, comparée à celle de ce point d'appui à l'endroit du levier qui agit sur le fardeau.

En parlant du levier au cinquième livre, page 110, nous avons fait voir que, dans l'état d'équilibre, la puissance doit être au poids en raison inverse de leur distance au point d'appui. Ainsi, dans la fig. 1, planche CXLVIII, où l'on voit un levier, dont A est le point d'appui, si l'on suppose que A C est 1, et A B 21, l'effort au point C sera 21 fois plus grand que celui de la puissance appliquée au point B. S'il s'agit de relever une pierre telle que C D E F, dont le poids serait de 4200, comme cette pierre ne cesse pas de poser au point F, autour duquel elle tend à tourner, le levier n'aura à soulever que la moitié du poids, qui sera 2100. Cet effort, qui se fait

en C, n'exigera, de la part de la puissance placée en B, qu'une force d'un peu plus de 100 livres, parce que 100 livres juste feraient équilibre.

On pourra aussi, par le moyen d'un levier figure 2, faire mouvoir un fardeau P, en le faisant tourner autour de son point d'appui A, en sorte que d'une part le point C décrive un cercle dont A C est le rayon, tandis que la puissance appliquée au point B en décrit un autre avec le rayon A B. Dans ce cas, la puissance est au poids comme C A est à A B. C'est de cette manière qu'agissent les barres appliquées aux treuils pour les faire mouvoir, comme celui représenté par la figure 3. Dans cette machine, la puissance est au poids comme le rayon de treuil, plus la moitié de l'épaisseur de la corde, est à la longueur du levier, comprise entre le centre du treuil et celui où la puissance est appliquée. Ainsi, supposant un treuil de 12 pouces de diamètre, enveloppé d'une corde d'un pouce de grosseur, la distance du centre du treuil au centre de la corde sera de 6 pouces $\frac{1}{2}$, et que le point du levier, auquel est appliquée la puissance, est éloigné de 5 pieds 5 pouces du centre du treuil, la puissance sera au poids comme 6 $\frac{1}{2}$ est à 65, ou comme 1 est à 10; c'est-à-dire qu'avec un poids de 100 livres on ferait équilibre à un poids de 1000 livres. Considérant ensuite que les rayons sont entre eux comme les circonférences, on reconnaîtra le principe général que nous avons déjà cité plusieurs fois, qu'indépendamment du frottement dans toutes sortes de machines, la puissance est toujours au poids ou à l'effort produit, en raison inverse des espaces parcourus.

Des Cabestans.

On fait encore usage, pour mouvoir les fardeaux, d'une autre machine appelée cabestan ou vindas, dans laquelle le treuil est placé verticalement ou d'aplomb. On le fait mouvoir avec des barres ou leviers placés horizontalement. Les marins donnent le nom de cabestan à cette machine, lorsqu'elle est fixe comme sur les vaisseaux; quand elle est mobile, ils l'appellent vindas, comme celle dont on se sert sur les ports et pour la construction des édifices.

Cette machine est d'un usage fort ancien; il en est parlé dans les Questions de mécanique d'Aristote et dans Vitruve, livre X, chapitre 4. Aristote le désigne par le mot Συγον, *Sugon*, et Vitruve par celui d'*Ergata*.

Les Italiens font beaucoup d'usage du cabestan, qu'ils nomment *argano*. En le combinant avec des moufles et des poulies de renvoi, il leur tient lieu de chèvre, de singe et de grue. On s'est servi avec succès de cette machine pour élever et transporter les plus grands fardeaux, tels que les obélisques de Rome, le rocher qui forme le piédestal de la statue de Pierre-le-Grand à Saint-Pétersbourg, une des grosses pierres qui forment les angles du fronton de la nouvelle église de Sainte-Geneviève de Paris. Ces pierres pesaient 53 milliers, sans compter le chariot sur lequel elles ont été menées. Pour transporter un de ces blocs depuis le port des Invalides jusqu'à Sainte-Geneviève, on a employé deux cabestans, tournés chacun par huit hommes, qui se relayaient de deux heures en deux heures. Il a fallu onze jours et sept nuits

pour lui faire parcourir cette distance, qui était d'environ 2600 toises, en passant par les boulevarts. Ce transport a coûté, en journées d'hommes, indépendamment des équipages et faux frais, 768 livres.

L'autre bloc a été amené du même endroit et sur le même chariot en moins de trois heures, par un voiturier du Gros-Caillou, appelé la Roulette. Il a fallu pour ce transport 63 chevaux, attelés trois à trois, et 12 charretiers; il a été payé 425 livres : ce qui prouve qu'il est souvent plus avantageux d'appliquer une puissance suffisante immédiatement au fardeau, que de se servir de machines, même les plus simples.

Lorsqu'on ne peut pas se passer de machines, le cabestan mériterait d'être préféré lorsqu'il s'agit d'élever de grands fardeaux, parce que les hommes qu'on y emploie ne courent aucun danger. On peut appliquer aux cabestans des hommes ou des chevaux; l'effort qu'ils produisent, quand ils sont appliqués immédiatement sans moufles ni poulies de renvoi, dépend du rapport du demi-diamètre du treuil à la longueur des barres; et, dans tous les cas, du rapport du chemin parcouru par la puissance à celui que parcourt le fardeau, ainsi que nous l'avons expliqué à l'occasion du rocher de Saint-Pétersbourg, livre 1er., page 99.

Le treuil des cabestans mobiles est placé dans un assemblage de charpente, auquel on donne le nom de chèvre, dont la forme varie; la plus ordinaire est celle représentée par la figure 5.

Le treuil des cabestans ordinaires est cylindrique; le bout du haut forme une tête carrée, percée de deux trous qui se croisent à angles droits l'un sur l'autre. C'est

dans ces trous qu'on enfile les barres auxquelles on applique les hommes ou les chevaux qui doivent faire tourner le treuil.

Lorsqu'on veut appliquer beaucoup d'hommes à un cabestan, au lieu de percer des trous pour les leviers dans la tête du cabestan, on forme une espèce de plateau circulaire avec un trou carré au milieu, qui s'enfile dans la tête du treuil, figures 14 et 15. Ce plateau est percé d'autant de mortaises qu'on veut y mettre de leviers, c'est-à-dire 6 ou 8. C'est ainsi qu'étaient ajustés les cabestans dont on a fait usage pour traîner le rocher de Pétersbourg; le plateau était percé de trous pour huit leviers, à chacun desquels étaient appliqués deux hommes. J'ai vu faire usage de ce moyen à Rome, pour les cabestans dont on s'est servi pour tourner les groupes de Monte-Cavalo.

Le bas du treuil des cabestans est fixé dans la chèvre par un tourillon qu'on fait entrer dans un trou rond de même diamètre, percé dans un madrier arrêté sur la base de la chèvre.

Le haut du treuil est fixé par un autre madrier portant une entaille demi-circulaire, qui le bute en sens contraire de l'effort.

Lorsqu'on veut se servir du cabestan pour traîner un fardeau, on commence par arrêter la chèvre à un point fixe, avec un cordage à plusieurs doubles attaché aux pieds de derrière. Quand il ne se trouve pas de point fixe à portée, on plante dans le terrain de forts pieux pour en servir, ainsi qu'on le voit exprimé dans les figures 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 13. On prend ensuite un câble, dont la grosseur doit être proportionnée au poids du

fardeau, et après lui avoir fait faire plusieurs tours sur le treuil, on attache un des bouts au fardeau et l'on fait tenir l'autre par un homme qui est assis par terre. A mesure que les hommes appliqués aux barres du cabestan font tourner le treuil, la partie du câble attachée au fardeau se roule dessus, tandis que celle tenue par l'homme assis se développe, de manière qu'il y a toujours le même nombre de tours sur le treuil. C'est pour produire cet effet qu'on place l'homme assis par terre; il doit tenir le câble assez ferme pour l'empêcher de glisser. La force qu'il faut n'est pas considérable, à cause du frottement, qui augmente en raison du nombre de tours; nous en parlerons ci-après.

Il est bon de remarquer que la partie du câble qui s'enveloppe sur le treuil, avance à chaque tour de son épaisseur, de sorte qu'après un certain nombre de tours, le câble ne trouve plus de place pour s'y rouler. On est alors obligé d'arrêter le cabestan et de lâcher le câble pour le faire remonter ou descendre selon que le bout de câble attaché au fardeau est en bas ou en haut, afin de faire de la place pour que le câble puisse continuer à se rouler sur le treuil. Cette opération que les ouvriers appellent *choquer*, a besoin d'être répétée fort souvent, lorsque la distance où l'on doit transporter le fardeau est considérable; elle est même dangereuse, lorsqu'il s'agit d'élever un fardeau ou de le traîner sur un plan incliné. Depuis environ un siècle, plusieurs mécaniciens se sont occupés des moyens d'obvier à cet inconvénient; en 1739, l'Académie des sciences de Paris proposa un prix à ce sujet. Dans les mémoires et les machines qui furent pré-

sentés, il se trouva des moyens ingénieux, mais trop compliqués pour l'usage.

Le moyen le plus simple est de faire le treuil conique, comme je l'ai vu pratiquer à Rome, en ajustant par devant un rouleau sans fin, ou une poulie qui maintient le bout du câble attaché au fardeau toujours d'une même hauteur; par ce moyen, le tour qui s'enveloppe par le bas étant le plus serré, fait, pour se placer, remonter les autres tours qui le sont moins, avec d'autant plus de facilité, que la grosseur va en diminuant, en sorte que le câble file sans avoir besoin de *choquer*. Cet arrangement est indiqué par les figures 6 et 7.

Les figures 8, 9 et 10 indiquent un moyen imaginé par M. Cardinet, ingénieur-géographe, qui lui a valu une récompense nationale an l'an 2 (1794), d'après le rapport de MM. Borda et Lagrange, fait au Bureau de consultation des arts et métiers.

Ce cabestan est composé de deux treuils, dont un principal, marqué A, a une tête avec des trous pour enfiler les barres qui doivent le faire tourner; l'autre, qui est de même diamètre, est placé en avant, c'est-à-dire du côté du fardeau à mouvoir. L'intervalle entre ces treuils est occupé par deux galets de cuivre enfilés dans un même axe, et qui répondent à des rebords ou bourelets formant sur chaque treuil une gorge, pour recevoir le câble. Il résulte de cette disposition, que les treuils, serrés par les cordes qui les enveloppent, sont obligés de tourner ensemble avec les galets qui les réunissent.

Il faut remarquer que la gorge du treuil principal A

est plus grande que celle du treuil B de deux épaisseurs de câble, en sorte que les rebords L sont plus larges d'une épaisseur de corde que ceux du treuil A marqué M. Il en résulte que le premier tour de câble sur le treuil s'élève de son épaisseur pour aller sur le treuil B en prenant une direction un peu oblique, et retourne se placer naturellement au-dessus du premier tour du treuil A en suivant une direction horizontale, d'où, s'élevant encore de son épaisseur pour aller sur le treuil B, il va se placer sur le second tour du treuil A, et ainsi de suite; en sorte que d'un côté la direction des tours est un peu oblique, et de l'autre elle est horizontale, de manière que le câble file sans interruption; et, comme il ne change pas de place, il n'est pas besoin de choquer. On pourrait se dispenser des galets de cuivre; parce que le serrement du câble qui enveloppe les deux treuils est plus que suffisant pour les faire tourner; ce qui simplifierait beaucoup cette disposition, dont l'iuvention est fort ingénieuse.

Le cabestan représenté par les figures 10, 11 et 12, est composé aussi de deux treuils, dans lesquels on a creusé des gorges ou cannelures horizontales pour loger séparément chaque tour de corde.

Il faut remarquer que la première cannelure du second treuil est plus élevée d'une épaisseur de corde que la première du treuil principal; les distances des autres cannelures sont les mêmes dans les deux treuils. Cette disposition produit le même effet que celle des treuils précédens. Cependant, comme dans ce dernier cabestan les cordes se croisent pour aller d'un treuil sur l'autre, il faut plus de force pour le faire agir.

Du frottement des cordes entortillées autour des treuils ou cylindres.

Comme c'est le frottement qui permet à un seul homme de soutenir l'effort d'un poids considérable dans l'usage du cabestan, nous allons examiner jusqu'à quel point on peut y compter.

Dans plusieurs traités de mécanique, et surtout dans le tome premier de la première partie de l'Architecture hydraulique de Bélidor, page 3, on démontre que si l'on suspend des poids aux extrémités d'une corde qui enveloppe la demi-circonférence d'un cylindre, la somme de ces poids est à la pression sur ce cylindre comme le rayon est à la demi-circonférence, c'est-à-dire à peu près comme 7 est à 11.

Le frottement étant proportionnel à la pression, il en résulte que, si d'un côté on substitue une puissance au lieu d'un poids, on pourrait connaître, par le moyen de cette pression, combien le frottement peut diminuer l'effort de la puissance par rapport au poids. Mais comme le frottement varie selon que les surfaces sont plus ou moins lisses, il n'y a que l'expérience qui puisse indiquer son rapport avec la pression dans chaque circonstance. Cette expérience consiste à suspendre aux deux extrémités d'une corde semblable à celle dont on veut faire usage, passée sur un cylindre de même matière et de même diamètre, deux poids égaux, et à augmenter un des poids jusqu'à ce qu'il commence à soulever l'autre; ce qu'on aura ajouté sera l'expression du frottement pour un demi-tour.

L'effort qu'il faut pour commencer à élever le premier poids étant connu, on le divisera par le double de ce poids; le quotient sera le nombre par lequel il faudra multiplier successivement le dernier résultat pour avoir celui qu'exigerait un demi-tour de plus. MM. Gautier et Bélidor, et ceux qui ont adopté leur méthode, pensent que le poids et l'effort qu'il faut pour le soulever pour le premier demi-tour, sont les deux premiers termes d'une progression géométrique; mais l'expérience prouve que le frottement n'augmente pas dans un si grand rapport, et que le premier terme de cette progression doit être le double du poids, ainsi qu'on peut le voir par la table suivante, où l'on a mis en comparaison les résultats des deux méthodes avec ceux de l'expérience. Ces expériences ont été faites avec un cylindre de bois de frêne fait au tour, de 50 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre, et une corde de 2 lignes de grosseur. A un des bouts de cette corde, qui formait un demi-tour sur le cylindre, j'ai suspendu un poids de deux livres, et à l'autre un bassin de balance, qui pesait autant avec ce qui était dedans. Pour commencer à élever le poids de deux livres, il a fallu ajouter dans le bassin 4 livres 2 onces 4 gros $\frac{1}{2}$, ou 4 livres $\frac{16}{100}$, en sorte que la valeur de l'effort était 6 livres $\frac{16}{100}$.

Divisant cet effort par 4, qui est le double du poids, j'ai trouvé pour quotient 1,54, par lequel, ayant multiplié les résultats de chaque demi-tour, j'ai trouvé, pour le second demi-tour, 9,49; pour le troisième, 14,61, au lieu de 57,8, que donnerait la méthode de MM. Gautier et Bélidor, et de 14 $\frac{1}{3}$ que donne l'expérience.

TABLE *qui indique l'augmentation de l'effort pour chaque demi-tour.*

POUR ÉLEVER UN POIDS DE DEUX LIVRES.	MÉTHODE PROPOSÉE.	MÉTHODE de MM. GAUTIER et BÉLIDOR.	EXPÉRIENCE.
Pour un demi-tour	6,16	6,16	6,16
Pour un tour	9,49	18,85	
Pour un tour et demi	14,61	57,68	14,51
Pour deux tours	22,50	176,50	
Pour deux tours et demi	34,65	540,10	34,69
Pour trois tours	53,36	1652,70	
Pour trois tours et demi	82,17	5057,26	83,00
Pour quatre tours	126,54	15475,21	
Pour quatre tours et demi	194,87	47354,14	198,00
Autre expérience faite sur un treuil d'un pied de diamètre, avec une corde de 6 lignes de grosseur et un poids de six livres.			
Pour un demi-tour	36	36	36
Pour un tour	108	216	
Pour un tour et demi	324	1296	334
Pour deux tours	972	7776	
Autre expérience faite sur le même treuil, avec une corde d'un pouce de grosseur et un poids de 7 livres.			
Pour un demi-tour	44	44	44
Pour un tour	138 $\frac{2}{7}$	282 $\frac{4}{7}$	
Pour un tour et demi	435	1776	442
Pour deux tours	1367	11163	

Lorsqu'on fait usage de cordes plus grosses, il faut augmenter le diamètre du treuil à proportion, à cause

de la roideur des cordes, qui augmente dans celles de même genre comme le carré de leur diamètre, en sorte que, si pour une corde de 12 lignes de grosseur il faut un treuil d'un pied de diamètre, il faudrait pour une corde de 15 lignes un treuil de 18 pouces 9 lignes;

pour une de 18 lignes	27 po.	0 lignes;
pour une de 21	36	9
pour une de 24	48	0
pour une de 27	60	9

si l'on veut que la roideur des cordes n'influe pas sur la puissance qui les tient roulées sur ces treuils.

J'ai éprouvé que pour faire courber les cordes ci-dessus sur un treuil de 12 pouces de diamètre, de manière qu'elles embrassent exactement la demi-circonférence du treuil, un des bouts étant arrêté d'aplomb, il a fallu suspendre à l'autre bout, pour une corde de 12 lignes, un poids de 45 48 (*)

pour une de 15 lignes	74	75
pour une de 18	112	108
pour une de 21	154	147
pour une de 24	196	192
pour une de 27	250	243

Ces poids indiquent les efforts qu'il faut pour retenir le câble et le faire filer lorsqu'on fait usage du cabestan, afin d'avoir un frottement proportionnel à sa grosseur pour soutenir le fardeau.

Ayant suspendu un poids de 100 livres à une des extrémités d'un bout de câble de 27 lignes de grosseur, qui faisait un demi-tour sur un treuil de 12 pouces de

(*) Cette seconde colonne indique les poids d'après les carrés des diamètres des cordes.

diamètre, il a fallu pour commencer à le soulever, un poids de 367 livres, ce qui fait trois fois $\frac{1}{3}$ le poids; mais comme ce câble ne touchait que les deux tiers de la demi-circonférence, le frottement n'était pas aussi considérable qu'il aurait dû l'être; un poids de 250 livres qui fait joindre le câble dans toute la demi-circonférence, donne plus de 1800 livres, c'est-à-dire plus de sept fois le poids.

Des cordages considérés par rapport à leur fabrication.

Les cordages se composent de fils dont la grosseur ou diamètre est depuis une demi-ligne jusqu'à deux lignes et demie.

Les plus simples et les plus petites sont nommées ficelles ; elles sont composées de deux petits fils cordés ensemble : en terme de marine on les nomme *bitords*.

Celles qui sont composées de trois fils cordés ensemble se nomment, en terme de marine, *merlins*, ou *lignes* en terme ordinaire.

En terme de l'art, au lieu de corder on dit *commettre*; ainsi, pour désigner les merlins ou lignes, on dirait que ce sont de petites cordes composées de trois fils *commis* ensemble.

Pour faire des cordes plus grosses, au lieu d'un seul fil, on en prend plusieurs qu'on tord ensemble pour en former un plus gros, qu'on appelle *tourons*.

Ces *tourons commis* ou cordés ensemble forment des cordes simples, désignées dans les grandes corderies par *hansières* ou *aussières*; c'est de ce dernier terme dont se sert M. Duhamel dans son excellent Traité de l'art de la corderie.

On distingue les *haussières* ou cordes simples par le nombre de *tourons* dont elles sont formées; ainsi, il y a des haussières composées depuis trois *tourons* jusqu'à six.

Chaque *touron* peut être composé depuis deux jusqu'à soixante fils tordus ensemble.

Les cordes composées, appelées *grelins*, sont formées de petites cordes simples ou haussières, au lieu de *tourons*. Pour les distinguer, on les appelle *cordons*.

Une infinité d'expériences faites par M. Duhamel prouvent que les cordages en grelin sont beaucoup plus forts que ceux faits en haussière; mais comme la façon des grelins est un peu plus coûteuse, on fait presque tous les cordages en haussières : il n'y a que des cas particuliers qui déterminent à les faire en grelin.

Les cordages les plus en usage pour la construction des bâtimens, sont les lignes, les cordages à main, les vingtaines, les haubans, les câbles et les brayés.

Les lignes sont de petites cordes composées de trois fils, qui servent pour aligner les paremens des murs que l'on construit.

Les cordages à main ont environ 7 lignes $\frac{1}{2}$ de diamètre, formés par quatre tourons de chacun six fils.

Les vingtaines ont environ un pouce de diamètre; elles sont formées aussi de quatre tourons de chacun 7 fils.

Les haubans ont 15 lignes de diamètre; ils sont formés de quatre tourons de dix fils chacun.

Les châbleaux ou petits câbles ont 21 lignes de diamètre, à 4 tourons de 40 fils chacun; les câbles, de deux pouces de diamètre, sont formés de quatre tourons de chacun 60 fils.

Ceux de 2 pouces $\frac{1}{2}$ ont quatre tourons de chacun 72 fils.

Ceux de 3 pouces ont 4 tourons de chacun 90 fils; ce sont les plus forts dont on fait usage pour les bâtimens.

Les brayés qui servent à lier les pierres sont de petits câbles à quatre tourons, qui sont *commis* plus lâches que les câbles et de même grosseur.

Les quatre plus forts câbles, dont on s'est servi pour la construction du dôme de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, avaient 2 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre sur 25 toises de longueur; c'étaient des *haussières* à 4 tourons de chacun 60 fils. La plus forte charge qu'ils avaient à soutenir était d'environ six milliers.

Il est cependant arrivé qu'un de ces câbles s'est rompu sous une charge de 4200. Cet accident fit naître l'idée d'éprouver ces quatre câbles, pour connaître quelle était la plus forte charge qu'on pouvait leur confier sans risque. Le plus fort se rompit sous un poids de 11553 livres.

Celui qui s'était rompu sous un fardeau de 4200, supporta, avant de se rompre, un poids de 10522; ce qui prouve que sa première rupture fut occasionée par un défaut particulier;

Le troisième câble supporta, avant de se rompre, un poids de 7522;

Le quatrième se rompit sous un poids de 6235 :

Ce qui donne pour poids moyen 8958.

Les tourons avaient 14 lignes de diamètre, 154 lignes de superficie; ils ont porté chacun 2240; chaque fil avait 2 lignes $\frac{3}{5}$ de superficie, répondant à une force de 37 $\frac{1}{3}$ et de 14 $\frac{55}{100}$ par ligne carrée.

Il résulte de ces expériences, qu'on ne peut pas confier, sans risque, plus de ce poids à des câbles de

cette grosseur fabriqués en haussières, surtout si ce fardeau doit demeurer un certain temps suspendu en l'air, ou être élevé à une grande hauteur; mais lorsqu'il ne s'agit que de traîner un fardeau sur un sol horizontal ou qui n'en diffère pas beaucoup, on peut leur faire soutenir un effort de sept à huit milliers, ou des trois quarts de leur force.

Il résulte encore de ces expériences, et de beaucoup d'autres faites sur des cordages de différentes grosseurs ou diamètres, fabriqués en *haussière* et en grelin, que la manière de calculer leur force, qui s'accorde le mieux avec ces expériences et toutes celles de MM. Duhamel, Muschenbrock, Réaumur et autres, est de chercher la force des tourons dont elles se composent, qu'on multiplie par leur nombre, en prenant pour base la force moyenne d'un fil d'une ligne de diamètre. Cette force se trouve de 16 livres $\frac{2}{3}$ pour les expériences de M. Duhamel, faites sur des cordes fabriquées avec beaucoup de soin et avec le meilleur chanvre. Nos expériences portent cette force à 16 livres, pour les cordes au-dessus d'un pouce de diamètre; à 15, pour celles au-dessus jusqu'à deux pouces; et à 14, pour celles au-dessus jusqu'à trois pouces, ce qui donne une force moyenne de 15 livres. C'est d'après ces données que nous avons calculé la table suivante, dans laquelle on trouve, outre la force moyenne, le poids qu'on leur peut confier sans risque, et leur pesanteur pour dix pieds de longueur ou deux brasses.

TABLE *de la force moyenne et réduite des cordes, en raison de leur diamètre.*

TOURONS.				CORDES A QUATRE TOURONS.				
Circonférence en lignes.	Diamètre en lignes.	Pesanteur en livres, et parties décimales de la livre.	Force moyenne.	Circonférence en lignes.	Diamètre en lignes.	Pesanteur y compris la mèche.	Force moyenne.	Force réduite.
2 $\frac{34}{49}$	» $\frac{6}{7}$	0,024	11	6	2	0,10	58	29
4 $\frac{9}{49}$	1 $\frac{1}{7}$	0,052	24	9	3	0,22	100	50
5 $\frac{19}{49}$	1 $\frac{6}{7}$	0,095	44	12	4	0,40	180	90
6 $\frac{36}{49}$	2 $\frac{1}{7}$	0,150	69	15	5	0,63	276	138
8 $\frac{4}{49}$	2 $\frac{4}{7}$	0,215	99	18	6	0.90	416	208
9 $\frac{3}{7}$	3	0,290	135	21	7	1,22	540	270
10 $\frac{38}{49}$	3 $\frac{3}{7}$	0,380	176	24	8	1,60	700	350
11 $\frac{6}{49}$	3 $\frac{6}{7}$	0,475	223	27	9	2,02	892	446
13 $\frac{25}{49}$	4 $\frac{2}{7}$	0,599	275	30	10	2,52	1112	556
14 $\frac{40}{49}$	4 $\frac{5}{7}$	0,719	333	33	11	3,03	1332	666
16 $\frac{9}{49}$	5 $\frac{1}{7}$	0,855	397	36	12	3,60	1588	794
17 $\frac{23}{49}$	5 $\frac{4}{7}$	1,005	469	39	13	4,23	1868	934
18 $\frac{6}{7}$	6	1,171	540	42	14	4,93	2160	1080
20 $\frac{10}{49}$	6 $\frac{3}{7}$	1,335	620	45	15	5,62	2480	1240
21 $\frac{27}{49}$	6 $\frac{6}{7}$	1,520	705	48	16	6,40	2820	1410
22 $\frac{44}{49}$	7 $\frac{2}{7}$	1,710	796	51	17	7,20	3184	1592
23 $\frac{12}{49}$	7 $\frac{5}{7}$	1,933	893	54	18	8,14	3572	1786
25 $\frac{29}{49}$	8 $\frac{1}{7}$	2,150	995	57	19	9,05	3976	1988
26 $\frac{46}{49}$	8 $\frac{4}{7}$	2,125	1105	60	20	10,00	4408	2204
28 $\frac{2}{7}$	9	2,629	1215	63	21	11,07	4860	2430
29 $\frac{31}{49}$	9 $\frac{3}{7}$	2,826	1329	66	22	11,90	5340	2670
30 $\frac{48}{49}$	9 $\frac{6}{7}$	3,167	1457	69	23	13,33	5828	2914
32 $\frac{16}{49}$	10 $\frac{2}{7}$	3,433	1587	72	24	14,40	6348	3174
32 $\frac{33}{49}$	10 $\frac{5}{7}$	3,710	1722	75	25	15,62	6888	3444
34 $\frac{1}{49}$	11 $\frac{1}{7}$	4,014	1862	78	26	16,90	7448	3724
36 $\frac{18}{49}$	11 $\frac{4}{7}$	4,327	2008	81	27	18,22	8036	4017
37 $\frac{5}{7}$	12	4,655	2160	84	28	19,60	8640	4320
39 $\frac{3}{7}$	12 $\frac{3}{7}$	4,992	2356	87	29	21,02	9268	4634
40 $\frac{39}{49}$	12 $\frac{6}{7}$	5,344	2480	90	30	22,50	9920	4960
41 $\frac{32}{49}$	13 $\frac{2}{7}$	5,705	2648	93	31	24,02	10592	5296
43 $\frac{5}{49}$	13 $\frac{5}{7}$	6,080	2821	96	32	25,60	11284	5642
44 $\frac{22}{49}$	14 $\frac{1}{7}$	6,465	3000	99	33	27,22	12000	6000
45 $\frac{39}{49}$	14 $\frac{4}{7}$	6,864	3185	102	34	28,90	12740	6370
47 $\frac{1}{7}$	15	7,272	3375	105	35	30,62	13500	6750
48 $\frac{24}{49}$	15 $\frac{3}{7}$	7,695	3571	108	36	32,40	14280	7140

Comme les cordes ne sont pas des cylindres réguliers, leur diamètre n'est pas à leur circonférence comme 7

est à 22 ; il est plus du tiers dans les petites cordes, et à peu près le tiers dans les grosses à quatre tourons. Pour les tourons formés de faisceaux de fils tordus ensemble, ce rapport diffère peu de celui de 7 à 22. Dans les cordes à quatre tourons, le diamètre de ces tourons est à peu près les $\frac{2}{7}$ de celui des cordes.

Nouvelle grue à volée mobile, qui a servi à la construction de la nouvelle église de Sainte-Geneviève.

Les grues sont des machines dont on fait usage dans la construction des grands édifices, pour élever les pierres et les transporter à une certaine distance d'un point fixe; ce qui s'exécute par le moyen d'une espèce de bec de charpente, qui a fait donner à ces machines le nom de grue, par analogie au bec et au long cou de cet animal volatil.

Les grues sont d'une invention moderne ; celles dont il est parlé dans Vitruve et dans quelques auteurs anciens, étaient des machines de guerre qui n'ont pas de rapport aux grues modernes.

L'église de Sainte-Geneviève est un des bâtimens publics où l'on a fait le plus d'usage des grues; j'y en ai vu jusqu'à sept en activité. Chargé, depuis plus de 36 ans, de diriger les constructions de cet édifice, j'ai eu occasion de faire, sur le service de ces machines, beaucoup d'observations, desquelles il résulte : 1°. que pour qu'une grue ordinaire ait la solidité convenable, il ne faut pas que son bec ou volée éloigne le fardeau de plus des deux cinquièmes de la hauteur totale de cette grue.

2°. Que la partie de poinçon emmanchée dans la charpente mobile formant bec de grue, doit être au moins de la moitié de la volée, c'est-à-dire de la moitié de la distance du câble, qui soutient le fardeau au centre du poinçon.

3°. Que cette partie de poinçon doit être taillée en cône tronqué, dont la grosseur, par le bas, doit être d'autant de pouces que la volée a de pieds, et celle du haut de moitié.

4°. Soit que la grue agisse par le moyen d'une roue à tambour ou à chevilles, l'éloignement du centre du poinçon à cette roue doit avoir les deux tiers de la volée.

5°. Le diamètre de l'une ou l'autre de ces roues doit être douze fois plus grand que celui du treuil sur lequel le câble s'entortille.

6°. La grandeur du patin doit être les deux tiers de la volée.

Quoique les grues ordinaires, proportionnées de cette manière, soient celles dont le service est le plus avantageux, elles ont cependant deux inconvéniens principaux. Le premier est que le fardeau, suspendu à l'extrémité du bec, agit avec une force qui exige une charpente très-forte et très-pesante, qui augmente l'effort du fardeau contre le poinçon; il est si considérable, que j'ai vu des poinçons de 18 pouces de grosseur se rompre par un fardeau de trois milliers, suspendu à l'extrémité du bec de la grue.

Le second inconvénient est que la volée, étant déterminée, ne peut être d'un bon usage que pour un seul cas; dans tous les autres, elle se trouve ou trop grande ou trop petite, de manière qu'il faut presque

toujours tirer le fardeau pour le mettre en place, ce qui augmente tellement l'effort contre le poinçon, que c'est ordinairement dans ces circonstances qu'il se casse. Pour donner une idée de cet effort, nous allons en faire le calcul pour une grue ordinaire, qui aurait 18 pieds de volée. On en fera ensuite l'application aux nouvelles grues que j'ai imaginées pour la construction du dôme, dont la plus grande volée est aussi de 18 pieds, afin de faire connaître l'avantage de ces nouvelles grues sur les anciennes.

Pour bien établir ce calcul, il faut savoir que, dans toutes sortes de machines où l'on élève le fardeau par le moyen d'une roue à chevilles dont le diamètre est douze fois plus grand que celui du treuil, il faut au moins un homme pour chaque millier que pèse le fardeau, parce que jamais les hommes ne montent jusqu'à l'extrémité du levier horizontal indiqué par le rayon de la roue, et qu'il serait même dangereux qu'ils fussent obligés d'y monter, de peur que le poids, qui serait alors presque en équilibre avec l'effort des hommes, ne les entraîne par la moindre secousse ou mouvement qui pourrait augmenter l'action du fardeau et occasioner des accidens funestes.

Le centre de gravité des grues ordinaires est en avant du poinçon quand elle n'est pas chargée; mais, en supposant qu'en chargeant la queue de la grue on parvienne à ce que ce centre réponde au milieu du poinçon, comme cela devrait être, le bras de levier qui soutient le fardeau étant de 18 pieds, produira, pour un fardeau de trois mille, un effort de 54 milliers. Il est vrai que cet effort sera diminué par le poids des trois hommes

placés sur la roue à chevilles, à douze pieds de distance du centre du poinçon, qui produira un effort exprimé par $390 \times 12 = 4680$; cet effort étant ôté de celui occasioné par le fardeau que nous avons évalué à 54000 livres, il restera 49320 livres pour celui qui agit, pour rompre la volée du poinçon, le diamètre du plus fort poinçon étant de 18 pouces pour 18 pieds de volée. La distance de l'endroit où se fait le plus grand effort étant de 9 pieds, on trouvera, par un calcul fondé sur les expériences de M. de Buffon sur la force des bois, qu'un pareil poinçon ne pourrait résister qu'à un effort de 65680; de sorte que le moindre effort qu'on pourrait faire pour tirer un poids de trois milliers suspendu au bec d'une pareille grue, à une distance un peu plus grande que la volée, pourrait faire rompre le poinçon au collet, ainsi que l'expérience le confirme; car j'ai vu un poinçon de 16 pouces de diamètre se rompre sous l'effort d'un fardeau qui ne pesait pas 2800 livres.

En 1763, lorsqu'on commença à ériger les quatre piliers du dôme de Sainte-Geneviève, on fit faire, à grands frais, une grue qui avait 31 pieds $\frac{1}{2}$ de volée sur 73 pieds de haut; on l'avait placée au centre de ce dôme, dans l'espérance qu'elle pourrait faire le service des quatre piliers, des arcs et de la tour au-dessus; mais on fut bientôt obligé d'y renoncer, parce que l'effort contre le poinçon était si considérable, qu'à peine pouvait-elle porter deux milliers, encore fallait-il qu'elle fût chargée sur la queue de 7 à 800. Cette grue, représentée par la figure 1 de la planche CXLIX, fut vendue à très-bon compte aux entrepreneurs du pont de Neuilly, qui, par la même raison, ne purent pas s'en servir. Cependant cette grue

était très-bien faite et très-bien conditionnée, mais l'artiste qui l'avait imaginée, n'avait pas calculé l'effort prodigieux qui devait résulter d'une aussi grande volée.

Les avantages des nouvelles grues sont : 1°. que la volée ne soutient pas seule le fardeau, comme dans les grues ordinaires; elle ne fait que l'éloigner, d'où il résulte qu'au lieu d'agir comme un levier qui tend à se rompre vers son point d'appui, elle résiste dans le sens de sa longueur comme le bois debout, et que, n'ayant pas besoin d'être aussi forte, elle est beaucoup moins lourde que le bec de charpente des grues ordinaires.

2°. Que le centre de gravité de la nouvelle grue se trouvant en arrière du poinçon à environ deux pieds de distance, cette position lui donne l'avantage de soutenir un poids de 1800 livres, avant que le centre de gravité se porte en avant du poinçon.

Ainsi, lorsque cette grue est chargée de trois milliers, elle n'agit pas avec plus de force contre le poinçon, qu'une grue ordinaire qui ne serait chargée que de 1200 livres; sa volée étant de 18 pieds comme celle de la grue ordinaire que nous avons prise pour point de comparaison, l'effort contre le poinçon sera de 21600 livres, dont ôtant celui occasioné par le poids des trois hommes qui élèvent le fardeau, évalué comme dans l'exemple précédent à 4680 livres, il ne restera que 16920 au lieu 40320, que donne la grue ordinaire, c'est-à-dire un peu plus du tiers. Mais il faut remarquer que les efforts du poids et de la puissance, qui se réunissent sur la poulie du haut, répondant au centre du poinçon, servent beaucoup à affermir cette espèce de grue et à diminuer l'effort contre le poinçon. D'après le calcul et l'expé-

rience, on a trouvé qu'elle peut porter un poids égal à sa pesanteur, sans culbuter; tandis qu'une grue ordinaire, combinée de la manière la plus avantageuse, culbuterait sous une charge moindre de la moitié de son poids, si le poinçon était assez fort pour y résister.

Ces nouvelles grues, dont on a fait usage pour la construction du dôme du Panthéon, et dont on se sert encore actuellement pour le rétablissement des tours, ont élevé des pierres de 36 à 40 pieds cubes, pesant de 6 à 7 milliers, jusqu'à 150 pieds, sans être fatiguées et sans qu'il soit arrivé le moindre accident. On n'aurait jamais osé confier des poids aussi considérables à des grues ordinaires, à cause de l'effort extraordinaire contre le poinçon, qui aurait été de plus de 120 milliers; tandis qu'un poincon de 18 pouces de diamètre ne peut résister qu'à un effort de 65 milliers.

Dans les nouvelles grues, cet effort peut être tout-à-fait supprimé, parce qu'elles peuvent être, haubanées comme une chèvre, au moyen d'une boucle à pivot placée sur le chapeau qui les termine par le haut. Cette boucle, répondant au centre du poinçon, ne changeant point de place quand on fait tourner la volée, trois haubans suffisent pour lui faire faire un tour entier sans fatiguer le poinçon.

Un autre avantage des nouvelles grues, c'est de pouvoir diminuer et augmenter leur volée de moitié, et de les rendre fixes au point où l'on veut. Souvent, dans la construction d'un édifice, on est obligé de pêcher le fardeau en dedans ou en dehors d'un mur ou piedroit pour le porter dessus; dans ces cas, il est très-avantageux que la volée puisse se rallonger et se raccourcir, afin de poser

le fardeau en place sans être obligé de tirer, au risque de faire culbuter la grue et de décrocher le fardeau.

Description des parties de la nouvelle grue, planc. CL.

Les dimensions des grues exécutées pour le dôme du Panthéon ont été combinées pour la place et le service qu'elles avaient à faire; mais elles sont susceptibles de dimensions plus ou moins grandes, en raison des circonstances.

Leur hauteur totale est de 36 pieds, leur plus grande volée est de 18 pieds, et la plus petite de 9 pieds, en sorte qu'on peut faire décrire au fardeau des arcs de cercle, depuis 9 pieds de rayon jusqu'à 18.

La charpente mobile qui porte la volée est composée d'un double assemblage de pièces. Les deux grandes posées debout, désignées sur les figures 1, 2, 3, par le chiffre 5, sont appelées jumelles. C'est entre ces pièces que s'ajuste le poinçon 1, de manière à lui laisser assez de jeu pour qu'elles ne puissent pas frotter en tournant. Comme la partie arrondie de ce poinçon va en diminuant, l'intervalle entre ces jumelles est plus rapproché par le haut que par le bas. Ces jumelles sont réunies dans leur longueur par trois entre-toises 6, 6, 6.

La plus basse porte en dessous une forte crapaudine en fer fondu, qui reçoit le pivot du poinçon, sur lequel porte toute la partie mobile de la grue. Par le bas, les jumelles sont assemblées dans une plate-forme 9, formant moise, percée d'un trou rond qui embrasse le poinçon par le bas de la partie arrondie; à l'endroit où se fait le plus grand effort. Pour adoucir le frottement, on a garni la partie du poinçon qui répond au trou rond de cette

moise, d'une bande de cuivre formant cercle, qui rend le mouvement extrêmement doux et égal.

Par le haut, ces deux jumelles sont assemblées dans une pièce 8, appelée chapeau; elles sont embrassées, aux deux cinquièmes de leur hauteur, par une grande moise 7 qui porte la roue et un des bouts du treuil, par le moyen d'une plate-forme pendante 13, affermie par le haut par deux liens; l'autre bout est soutenu par deux poteaux 12, assemblés avec la moise du bas 9 et la grande moise 7.

Au-dessous de cette grande moise sont quatre grands liens 11, qui s'assemblent par le bas dans les jumelles 5, et au-dessus quatre contre-fiches 10 pour contre-buter les jumelles par le haut et les maintenir d'aplomb.

La volée est formée par une pièce de bois 15, arrêtée par le bas au-devant du poinçon, sous la grande moise, par un fort boulon autour duquel elle est mobile. Ce boulon est soutenu par deux tasseaux entaillés dans les jumelles et retenus par un étrier de fer qui les embrasse. Cette volée est garnie par le haut, fig. 4, d'une poulie de fonte *a* de deux pieds de diamètre, portant d'un côté une roue de fer à dents de scie, afin de pouvoir l'enrayer lorsqu'on veut rendre la volée mobile; pour cela, on a adapté, au-dessus de la poulie, une espèce de levier double *b*, mobile autour d'un boulon *e*, qui est au tiers de sa longueur. A ce levier est adapté une pièce de fer aplatie d'un bout *d*, pour presser le câble sur la poulie, et portant de l'autre une dent pour s'engrener en même temps avec la roue dentée, en sorte que, si la grande roue du treuil agit, elle fera monter ou baisser la volée avec le fardeau.

Le petit levier, qui enraye ou désenraye la poulie,

agit par le moyen de chaînes arrêtées à ses deux bouts; et qui passent sur des poulies enfilées dans le même boulon que la volée. Une de ces chaînes vient s'entortiller sur un petit cylindre où elle est arrêtée. On fait bander la chaîne par le moyen d'un poids suspendu à l'extrémité d'un levier planté dans le cylindre : alors la poulie et le câble s'enrayent.

On arrête la volée au point où l'on veut, par le moyen d'une forte crémaillère de fer posée sur une pièce de bois 16, fig. 1, attachée d'un bout à la volée, aux deux tiers de sa longueur, par un étrier de fer et un boulon autour duquel cette pièce peut tourner. L'autre bout roule sur un petit cylindre 27, fig. 2, placé entre les jumelles, mobile autour de son axe, pour diminuer le frottement au-dessus de la pièce de bois qui roule sur le cylindre; aussi entre les jumelles est une espèce de couteau ou barre triangulaire 17, qui fixe la volée en s'engrenant dans les dents de la crémaillère. Ce couteau, qui est arrêté dans une des jumelles par un boulon de fer autour duquel il peut tourner, agit par le moyen d'une tringle de fer verticale 18, fig. 3, posée en dehors de l'autre jumelle, que le manche du couteau traverse. Ce mouvement s'exécute par le moyen d'un grand levier de fer 20, posé vers le bas des jumelles, ajusté à un des bouts d'un axe horizontal qui porte à l'autre bout une espèce de manivelle 19, évidée pour recevoir un bouton ajusté au bout de la tringle verticale 18. Le levier se fixe par le moyen de deux crochets *a* et *b*, fig. 2, placés sur la plate-forme, dans laquelle les jumelles sont assemblées par le bas.

Lorsqu'on transporte le levier du crochet qui est à droite à celui qui est à gauche, la manivelle, en tirant

la tringle, fait baisser le couteau qui s'engrène dans la crémaillère; alors la volée reste fixe, et la grue fait le service d'une grue ordinaire.

Lorsqu'au contraire on transporte le levier du crochet qui est à gauche à celui qui est à droite, ce mouvement fait enrayer d'un côté la poulie de la volée et le câble, de l'autre côté il fait lever le couteau qui était engrené dans la crémaillère : alors la volée devient mobile et peut hausser ou baisser avec le fardeau, en s'allongeant ou en se raccourcissant, selon les circonstances.

Pour que le grand levier puisse faire mouvoir en même temps la tringle qui lève le couteau, et bander la grande chaîne pour enrayer la poulie de la volée, on a adapté à l'axe qui porte le grand levier et la manivelle un autre petit levier 21, fig. 1, qui se meut entre une des jumelles et le poinçon. Ce petit levier est lié avec un autre 22, planté dans un rouleau ou petit cylindre dont il a déjà été question, auquel est attaché un poids 23, pour faire bander la chaîne qui fait enrayer la poulie et le câble au haut de la volée. Il résulte de cet arrangement, que lorsque le grand levier est porté du crochet qui est à gauche à celui qui est à droite, le bout de chaîne qui lie les deux leviers soulève le poids qui faisait bander la grande chaîne, qui devient alors assez lâche pour que le petit levier double du haut de la volée, puisse se relever, et désenrayer la poulie par le moyen d'un petit poids suspendu à une chaîne attachée à l'autre bout de ce levier double. Il a fallu faire agir ces chaînes qui enrayent et désenrayent la poulie par le moyen de deux poids, parce qu'à mesure que la volée se lève, il se développe une partie de chaînes de dessus les poulies

sur lesquelles elles passent au bas de la pièce de bois qui forme la volée; ce qui diminuerait la tension de cette chaîne, si le poids en s'abaissant ne la conservait toujours égale et suffisante.

Ce mécanisme, qui paraît compliqué dans une description, s'exécute cependant avec la plus grande facilité et la plus grande sûreté, puisqu'il ne s'agit que de transporter le levier d'un crochet à un autre. Si la volée est fixe et qu'on veuille la rendre mobile, il suffit de dire à un manœuvre le plus borné de changer le levier, et tout s'exécute avec la plus grande précision; il n'y a aucune méprise à craindre de sa part, il le trouve accroché d'un côté, il l'accroche de l'autre. Le mécanisme est tellement combiné, que quand même il l'accrocherait mal, il n'en pourrait résulter aucun inconvénient; le levier peut lui échapper des mains et rester au tiers, au quart de sa course, ce serait la même chose, parce que la poulie ne peut se désenrayer sans que le couteau ne soit engrené dans la crémaillère, et qu'il ne peut se faire aucun effet sans que l'effet contraire ne s'exécute en même temps.

Cette nouvelle grue, malgré ces avantages, paraîtra peut-être trop compliquée pour l'usage des bâtimens; mais on peut supprimer, si l'on veut, tout le mécanisme qui sert à rendre la volée mobile, tandis qu'elle est chargée du fardeau; alors elle devient plus simple, moins coûteuse que les grues ordinaires et d'un meilleur service, puisqu'elle peut élever de plus grands fardeaux; et qu'à volée égale, elle n'a pas besoin de tant d'élévation, et qu'en pratiquant les trous dans la pièce de bois qui soutient la volée, on pourrait la fixer, avant

de s'en servir, au point où l'on voudrait, par le moyen d'un fort boulon qui passerait au travers des jumelles.

La roue à chevilles 14, qui fait agir cette grue, a 16 pieds de diamètre et le treuil 16 pouces; ces dimensions sont celles que l'usage a fait reconnaître pour les plus avantageuses, de même que la combinaison des pièces de bois qui la fortifie à l'intérieur et qui la fixe au treuil.

Le pied du pivot 1 est établi sur un châssis de charpente de 14 pieds en carré, dont les angles sont entretenus par des liens 10, avec deux pièces qui se croisent au milieu, où s'assemble la partie carrée de ce pivot, fortifiée par quatre contre-fiches 3.

On ajuste quelquefois aux roues des treuils, des cliquets, pour retenir la roue lorsque malheureusement le câble qui soutient le fardeau que l'on monte vient à se rompre, afin d'empêcher la roue de tourner en sens contraire et les hommes d'être enlevés ou blessés; mais j'ai reconnu, par expérience, que lorsqu'un câble casse, le cliquet qui arrête subitement la roue occasione un soubresaut assez violent pour secouer les hommes de dessus les chevilles, quoiqu'ils se tiennent à la roue, et ils s'estropient dans leur chute. Quand il n'y a pas de déclin, la roue n'éprouve qu'un balancement de quelques pieds, qui n'agit pas assez fort pour secouer les hommes.

J'ai vu, pendant la construction de l'église de Sainte-Geneviève, plusieurs fois des câbles casser et des pierres se décrocher en les tirant pour les faire arriver sur le tas; aucun des hommes qui étaient sur les roues des

grues ou des singes, n'a été blessé, quoiqu'il n'y eût rien pour arrêter ces roues. Il est arrivé une fois qu'en montant au singe une pierre qui pesait plus de six milliers, le câble se cassa lorsque la pierre était à plus de 60 pieds de hauteur; il y avait sept hommes sur la roue à chevilles, aucun ne fut blessé; il n'en résulta qu'un balancement d'environ deux pieds. Le fardeau monte si lentement, qu'il ne peut pas procurer à la roue une vitesse et une force assez grandes pour enlever les hommes, comme plusieurs se l'imaginent, parce que le poids des hommes dont elle est chargée, qui fait équilibre au fardeau, s'y oppose.

Quelquefois on a employé, au lieu de roue à chevilles ou à tambour, des roues à dents avec des pignons, des vis sans fin mis en mouvement par des hommes appliqués à des manivelles.

Grue dont on a fait usage pour la construction des Écoles de Médecine, planche CXLIX.

On avait fait faire pour la construction des Écoles de Médecine de Paris, une grue, fig. 2, qui agissait par le moyen d'une manivelle, dont l'axe avait 14 pouces de rayon. Cette vis sans fin s'engrenait avec une roue de métal de 18 dents, portant un pignon de 4 dents engrenant dans une roue de 24 attachée au treuil, en sorte qu'il fallait 36 tours de manivelle pour en faire faire un au treuil.

Pour évaluer la force de cet engrenage, il faut savoir qu'on démontre en mécanique que, dans toutes sortes de machines, les forces doivent être à l'effet qu'elles produisent en raison inverse des espaces parcourus, indépendamment des frottemens. Dans celles dont il s'agit, la

manivelle ayant 14 pouces de rayon, la puissance parcourt à chaque tour une circonférence de 7 pieds 4 pouces, et comme il faut 36 tours de manivelle pour un tour de treuil, l'espace parcouru par la manivelle sera, à celui parcouru par le câble qui s'entortille autour du treuil, comme 7 pi. 4 po. $\times$ 36 est à 4 pi. 6 po.; comme 264 est à 4 pieds $\frac{1}{3}$; comme 176 est à 3.

L'expérience a fait connaître qu'un homme de moyenne force appliqué à une manivelle, ne peut agir avec plus de 25 livres de force, lorsque ce travail, qui est un des plus pénibles, doit durer quelque temps. Ainsi, on aura la proportion 3 : 176 : : 25 est à un quatrième terme exprimé par $\frac{176 \times 25}{3}$ qui donne 1466 $\frac{2}{3}$ pour le poids que pourrait soutenir en équilibre l'homme appliqué à la manivelle; mais comme il faut de plus, pour faire mouvoir le fardeau et vaincre les frottemens inévitables dans toutes sortes de machines, une plus grande force, on peut réduire le poids du fardeau qu'un homme peut faire mouvoir à 1200 livres. Le poids du pied cube de la pierre de Paris étant d'environ 160 livres, il en résulte qu'un homme ne pourrait monter qu'une pierre d'environ 7 pieds cubes, c'est-à-dire du plus petit échantillon pour de la pierre de taille, puisqu'il s'en trouve qui produisent jusqu'à 40 pieds.

Dans les grues à roue, celles à chevilles sont beaucoup plus avantageuses que celles à tambour, parce que l'homme qui monte sur une roue à chevilles peut aller jusqu'en B, pl. CL fig. 2; alors il agit avec le plus grand levier possible, au lieu que celui qui est dans une roue à tambour, ne pouvant monter tout au plus qu'en E, n'agira

qu'avec le levier E F, qui n'est qu'environ les $\frac{2}{3}$ du précédent.

Supposant une roue de 15 pieds de diamètre, qui est la grandeur la plus ordinaire, et un treuil de 15 pouces et le poids d'un homme de 130 livres, son plus grand effort, par rapport à une roue à chevilles, sera de 130×12, qui donne 1560 livres pour le fardeau qu'un homme pourrait tenir en équilibre; mais, comme pour le faire mouvoir et vaincre les frottemens, il faut environ $\frac{1}{6}$ du poids, on peut réduire le poids que pourrait élever un homme, à 1300 livres, c'est-à-dire 100 livres de plus que par la manivelle. Dans une roue à tambour, un homme ne pourrait faire équilibre qu'à un poids de 1300 livres et n'en élever qu'un de 1084 livres; ce qui fait 216 livres de moins que par la roue à chevilles, et 116 livres de moins que par le mécanisme à manivelle; en sorte que ce dernier moyen se trouve entre l'effort des roues à chevilles et de celles à tambour; mais il est plus long.

Une roue de 15 pieds de diamètre est ordinairement garnie de 45 chevilles. On a observé qu'il fallait environ une minute pour faire faire un tour à la roue, tandis qu'il en faut plus de deux pour faire faire un tour au treuil par le moyen de la manivelle; en sorte qne le service est une fois plus long que par les roues à chevilles ou à tambour.

Il faut observer de plus que, lorsqu'un homme agit par sa pesanteur, l'effort est indépendant de sa volonté et de ses forces, au lieu qu'un homme appliqué à une manivelle peut agir selon une partie plus ou moins grande de sa force et de son courage; de sorte qu'il est beaucoup

plus difficile d'évaluer le résultat de son travail, qui peut quelquefois se réduire à moitié et quelquefois doubler.

Dans l'usage ordinaire, on compte, pour les roues à chevilles, un homme pour chaque millier que peut peser le poids à élever, et pour les roues à tambour un homme pour 750 livres. On peut placer quatre hommes sur une roue à chevilles et trois dans une roue à tambour, et lorsque la roue est en même temps à chevilles et à tambour, on peut y placer jusqu'à 12 hommes, capables d'élever dix milliers.

Autres Machines employées à la construction.

Les autres machines dont on fait usage pour la construction, sont : les leviers, les poulies, le mât, la chèvre, l'engin, le treuil, le singe, le cabestan ou vindas, agissant avec des cordages et des poulies, combinées de manière à faciliter le mouvement en augmentant l'effort de la puissance.

On démontre en mécanique que la force qu'il faut pour mouvoir un corps pesant, est en raison inverse des espaces parcourus en même temps par le fardeau et la puissance. Ainsi, une puissance peut faire mouvoir un fardeau double, triple, quadruple, etc., en ne lui faisant parcourir que la moitié, le tiers ou le quart du chemin qu'elle fait; d'où il résulte que pour mouvoir un fardeau double, triple, quadruple, etc., de l'effort de la puissance, il faut deux fois, trois fois, quatre fois plus de temps, c'est-à-dire que l'on perd en temps ce que l'on gagne en force indépendamment des frottemens

occasionés par les combinaisons, pour produire un plus grand effet.

Application de ces principes aux poulies et aux moufles.

Tout le monde sait que les poulies sont des corps cylindriques de peu d'épaissseur, en bois ou en métal, avec une cannelure autour pour tenir le cordage, et un axe de fer dans lequel elles sont enfilées pour tourner avec la corde qui enveloppe une partie de leur circonférence.

Une poulie seule et fixe ne peut pas diminuer l'effort du poids, par rapport à la puissance qui le fait mouvoir, parce qu'elle est obligée de parcourir un espace égal à celui que parcourt le poids; et même, comme il n'y a pas de machine sans frottement, on peut dire que pour faire mouvoir un poids par le moyen d'une poulie fixe, il faut un peu plus de force que si on le tirait immédiatement. Mais comme on ne peut pas toujours appliquer à un poids une puissance selon la direction qu'il doit suivre, les poulies sont nécessaires pour donner à la puissance la direction que l'on veut, souvent opposée à celle du fardeau, comme dans les chèvres et les grues.

Lorsque les poulies dont on se sert pour élever un fardeau ne sont pas arrêtées à un point fixe, c'est-à-dire lorsque les poulies attachées au fardeau suivent son mouvement comme dans les figures 1, 2, 3, 4 et 5, pl. CLI, la puissance étant obligée de parcourir un espace double de celui que parcourt le fardeau, son effort ne doit être qu'un peu plus de la moitié : ainsi dans la figure 1,

la force P, appliquée au-dessus de la poulie A, sera un peu plus de la moitié du poids, l'autre moitié étant soutenue par le premier cordon arrêté en E; de même, la puissance Q, appliquée en dessus de la poulie B, n'agira qu'avec un peu plus de la moitié de la force P, l'autre moitié étant soutenue par le second cordon arrêté en F.

Par la même raison, la puissance R, appliquée en dessus de la poulie C, n'agira qu'avec la moitié de l'effort de la puissance Q, l'autre moitié étant soutenue par le troisième cordon arrêté en G. Quant à la poulie D, qui est fixe, la puissance S, placée au-dessous, sera obligée d'agir avec un effort un peu plus grand que la puissance R, parce que le quatrième cordon H n'étant pas arrêté, la puissance S soutient seule l'effort entier de la puissance R. Cette combinaison de poulies est une des plus avantageuses pour la puissance, mais elle a un inconvénient qui en rend l'usage impraticable: c'est que pour trois poulies mobiles, il faut que la poulie fixe D soit à une hauteur huit fois plus grande que celle à laquelle on veut élever le fardeau; ainsi, pour élever un fardeau à 50 pieds de hauteur, il faudrait que la poulie D fût à plus de 400 pieds d'élévation. Le cordon G, F, R, S, devrait avoir plus de 800 pieds, celui F, Q, et les deux autres chacun 400 pieds; ce qui fait plus de 1600 pieds de corde.

Les moufles représentées de face et de profil par les figures 2 et 3, composées de deux chapes garnies chacune de trois poulies, sont celles dont on fait le plus d'usage; si l'on fait abstraction du frottement des poulies autour de leur axe, on trouvera que, par leur moyen,

on pourrait mouvoir un fardeau six fois plus considérable que la puissance, parce qu'elle parcourt un espace six fois plus grand que celui parcouru par le fardeau; mais pour produire cet effet, il faudrait, pour faire parcourir 50 pieds au fardeau, plus de 300 pieds de corde.

Mais si l'on veut avoir égard au frottement, on trouvera que la puissance, au lieu d'être $\frac{1}{6}$ du fardeau, doit être près de moitié. J'ai éprouvé que, pour élever un fardeau de 107 livres avec des moufles composées de deux chapes de fer, garnies chacune de trois poulies en cuivre dont les diamètres étaient de 6 pouces, 4 pouces et 2 pouces, et ceux de leur axe de 10 lignes $\frac{3}{4}$, 9 lignes $\frac{3}{4}$ et 8 lignes $\frac{3}{4}$, il fallait un poids de 50 livres ces mouffles ayant six cordons, indépendamment de celui qui tire; l'effort de la puissance aurait dû être $\frac{107}{6} = 17\frac{5}{6}$, au lieu de 50, en sorte que les frottemens ont été de $32\frac{1}{6}$.

On trouve, d'après les principes démontrés dans tous les traités de mécanique, que le frottement est au poids comme le diamètre des axes est à celui des poulies. Ainsi, pour la chape du haut des moufles dont il s'agit, on trouvera que la somme des diamètres des axes étant de 29 lignes $\frac{1}{4}$, et celle des diamètres des poulies de 144 lignes, le rapport sera, à très-peu de chose, comme 1 est à 5; c'est-à-dire que le frottement est $\frac{1}{5}$ du poids du fardeau. Pour la chape du bas, à laquelle est suspendu le fardeau qui se meut avec lui, le frottement n'est que moitié, c'est-à-dire $\frac{1}{10}$; ce qui fait pour le frottement des six poulies, $\frac{3}{10}$. Le fardeau étant de 107 livres, ces $\frac{3}{10}$ donneront $32\frac{1}{10}$, c'est-à-dire $\frac{1}{15}$ de livre de moins que l'expérience, ou un peu plus

d'une once; ce qui prouve l'accord de la théorie avec l'expérience, lorsque l'application est faite comme il convient.

Les moufles indiquées par les figures 4 et 5, qui sont triples des précédentes et composées de deux chapes garnies chacune de 9 poulies, ne sont pas, à beaucoup près, aussi avantageuses qu'elles le paraissent, à cause du frottement et de la quantité de cordages qu'il faut pour les faire agir. Si l'on fait abstraction du frottement, on trouvera qu'au moyen de ces moufles, une puissance pourrait élever un fardeau dix-huit fois plus grand que l'effort qu'elle fait, mais aussi il faut qu'elle fasse dix-huit fois plus de chemin : de sorte que pour élever un fardeau à 50 pieds, il faudrait 900 pieds de cordage; ce qui devient fort embarrassant.

Si l'on veut avoir égard au frottement, il faut, comme pour l'exemple précédent, chercher le rapport de la somme des diamètres des axes et des poulies. Supposons les diamètres des grandes poulies de 9 pouces, et celui de leur axe de 10 lignes; le diamètre des poulies moyennes de six pouces, et celui de leur axe de 9 lignes; le diamètre des petites de 5 pouces, et celui de leur axe de 8 lignes; on aura pour les axes des grandes poulies de la chape du haut . . . . . $10 \times 3 = 30$

La somme des axes des poulies moyennes sera. . . . . $9 \times 3 = 27$

Celle des axes des petites poulies $8 \times 3 = 24$

en tout. . . 81 lignes.

Le diamètre des grandes poulies étant de 9 pouces ou 108 lignes, leur somme sera . . . . . $108 \times 3 = 324$

Celle des poulies moyennes de 6 pouces ou 72 lignes, donne $72 \times 3 = 216$

Celle des petites poulies de 3 pouces ou 36 lignes . . . . . $36 \times 3 = 108$

en tout . . . . 648 lignes.

Ainsi le rapport sera $\frac{81}{648}$, qui se réduit à $\frac{1}{8}$, qui indiquera leur frottement; celui des 9 poulies de la chape du bas étant de moitié, sera exprimé par $\frac{1}{16}$; ces deux rapports réunis donneront pour le frottement des 18 poulies $\frac{3}{16}$, à quoi il faut encore ajouter $\frac{1}{18}$ pour l'effort de la puissance, indépendamment des frottemens, et on aura $\frac{70}{288}$, qui se réduit à $\frac{35}{144}$; c'est-à-dire que pour élever un fardeau de 1440 livres, il faudrait 350 livres de force, au lieu de 80 livres que donne sa combinaison, ce qui fait 270 livres pour les frottemens; en sorte que la puissance, au lieu d'être le dix-huitième, serait de près du quart.

L'expérience donne encore des frottemens plus forts, surtout lorsqu'il n'y a qu'un seul cordon pour tirer; quand il y en a deux, il est un peu moindre, et avec trois cordons, c'est-à-dire un pour chaque poulie du haut, il est encore moindre et ne diffère presque pas de ce que donne le calcul.

Les moufles, composées de chapes à deux poulies, comme celles représentées par les figures 6, 7 et 8, présentent l'avantage d'enlever le fardeau avec le tiers de son poids, si l'on suppose que les poulies et les axes

sont, comme les grandes et les moyennes des moufles précédentes, la somme des axes 19 lignes et celle des diamètres des poulies de 170 lignes; ce qui donnera pour le frottement des poulies de la chape du haut $\frac{19}{170}$, et pour celui de la chape du bas $\frac{19}{340}$, et pour les deux $\frac{57}{340}$, à quoi il faut ajouter $\frac{1}{3}$ pour l'effort de la puissance indépendamment des frottemens, et on aura $\frac{170}{340}$, qui se réduit à $\frac{1}{2}$; ainsi deux paires de moufles de ce genre, appliquées à un fardeau, produiraient avec huit poulies, en une heure de temps, un effet égal aux moufles précédentes avec dix-huit poulies, en trois heures de temps, et trois fois plus de cordage.

Les fig. 9 et 10 représentent des moufles composées de deux chapes en fer; celle du haut, garnie de quatre poulies en cuivre de 4 pouces de diamètre, enfilées dans un même axe de 9 lignes de grosseur. La chape du bas contient trois poulies de même matière et même diamètre, enfilées dans un boulon aussi de 9 lignes de grosseur.

Si l'on applique le calcul à ces moufles pour évaluer le frottement, on trouvera pour la chape du haut qui est fixe, le rapport des axes aux poulies $= \frac{9\times4}{48\times4}$, qui se réduit à $\frac{3}{16}$, et pour la chape du bas $\frac{9\times3}{48\times3}$, qui se réduit de même à $\frac{3}{16}$, dont prenant la moitié, parce que cette chape est mobile, on aura pour le frottement des poulies de deux chapes $\frac{3}{16} + \frac{3}{32} = \frac{9}{32}$, à quoi ajoutant $\frac{1}{6}$ pour l'effort de la puissance indépendamment des frottemens, on aura $\frac{9}{32} + \frac{1}{6} = \frac{27}{96} + \frac{16}{96}$, qui se réduit à $\frac{43}{96}$. Pour éprouver le résultat de ce calcul, j'ai accroché à la chape du bas de ces moufles un fardeau, qui, avec celui

de cette chape, pesait 146 livres; il a fallu, pour élever ce fardeau, suspendre, aux deux cordons réunis qui font mouvoir les moufles, un poids de 65 livres $\frac{1}{2}$.

Nous avons trouvé, par le calcul précédent, que la puissance devait être les $\frac{43}{96}$ du fardeau; ainsi, multipliant ce fardeau qui est de 146 livres par la fraction $\frac{43}{96}$, on trouve 65 livres $\frac{8}{96}$ ou $\frac{1}{8}$, qui ne diffère que de $\frac{3}{8}$ de livre ou 6 onces de ce que donne le calcul fondé sur les principes de mécanique statique.

Les autres moufles, représentées par les fig. 11, 13, 14, 15, 16 et 17, sont de même genre que les précédentes. Leur force s'évalue de la même manière.

La fig. 18 indique une combinaison de poulies de même diamètre, qui peut être employée avec avantage pour lever des fardeaux d'une certaine longueur, comme celle dont on s'est servi pour élever une des grandes pierres du fronton du Louvre.

Observations.

Puisque le frottement dépend de la grosseur de l'axe des poulies, comparé à leur diamètre, il en résulte que plus l'axe est petit, moins le frottement est grand. Considérant ensuite que l'axe d'une poulie doit soutenir l'effort du fardeau et de la puissance sans plier, c'est, avant tout, sa grosseur qu'il faut déterminer. Prenant ensuite cette grosseur pour unité, on pourra sûrement déterminer les dimensions des poulies et de leurs chapes.

On a remarqué que les poulies trop minces n'ont pas assez de stabilité, c'est-à-dire qu'elles ne se maintiennent pas facilement selon la direction du cordage qui les en-

veloppe. Un grand nombre d'opérations et d'expériences m'ont fait connaître que le rapport le plus avantageux du diamètre des poulies avec leur épaisseur, était $\frac{1}{5}$, c'est-à-dire qu'une poulie de 25 pouces de diamètre devait avoir 5 pouces d'épaisseur.

Celle de 20 pouces 4 pouces.
Celle de 15 pouces 3 pouces.
Celle de 10 pouces 2 pouces.
Celle de 5 pouces 1 pouce.

En donnant au boulon le douzième du diamètre, qui est le rapport le plus convenable, ce boulon aura autant de lignes de grosseur que le diamètre a de pouces; ainsi, une poulie de 25 pouces de diamètre aura 25 lignes de grosseur, une de 20 pouces 20 lignes, etc.

Comme il faut un peu de jeu aux poulies pour qu'elles puissent tourner librement dans leur chape, il convient d'ajouter $\frac{1}{6}$ de l'épaisseur de la poulie pour avoir la longueur dans œuvre du boulon et la largeur du vide de la chape; ainsi, pour une poulie de 25 pouces de diamètre, son épaisseur étant de 5 pouces, la portée du boulon sera de 5 pouces 10 lignes pour une poulie de 20 pouces, 4 pouces 8 lignes, etc.; en ajoutant $\frac{1}{6}$ de l'épaisseur de la poulie, c'est-à-dire 2 lignes par pouce.

Pour l'usage des bâtimens, le moindre diamètre des poulies devrait être de 5 pouces avec un boulon de 5 lignes d'épaisseur, pour lequel on peut fixer la charge à soutenir à 1000 liv., afin de résister solidement sans plier.

C'est d'après cette base qu'on peut déterminer toutes les dimensions relatives aux poulies et à leurs chapes, ainsi que les charges des boulons, qui doivent être comme

le carré des diamètres des axes. Sachant, par exemple, que la charge d'un boulon de 5 lignes peut être de 1000, si l'on veut avoir celle d'un boulon de 6 lignes, on fera la proportion 25, qui, le carré de 5, est à 1000 comme 36, qui est le carré de 6, est à un quatrième terme, qu'on trouvera 1440; ainsi des autres. On a rassemblé, dans la table ci-après, les dimensions relatives aux poulies, depuis 5 pouces de diamètre jusqu'à 25 pouces.

Diamètre des poulies en pouces.	Épaisseur des poulies en pouces.	Largeur du vide des chapes, *id*	Grosseur des boulons en lignes.	Charge qu'ils peuvent soutenir.
5	1	1 $\frac{1}{6}$	5	1000
6	1 $\frac{1}{5}$	1 $\frac{12}{30}$	6	1440
7	1 $\frac{2}{5}$	1 $\frac{19}{30}$	7	1960
8	1 $\frac{3}{5}$	1 $\frac{26}{30}$	8	2560
9	1 $\frac{4}{5}$	2 $\frac{3}{30}$	9	3240
10	2	2 $\frac{1}{3}$	10	4000
11	2 $\frac{1}{5}$	2 $\frac{17}{30}$	11	4840
12	2 $\frac{2}{5}$	2 $\frac{24}{30}$	12	5760
13	2 $\frac{3}{5}$	3 $\frac{1}{30}$	13	6760
14	2 $\frac{4}{5}$	3 $\frac{4}{30}$	14	7840
15	3	3 $\frac{1}{2}$	15	9000
16	3 $\frac{1}{5}$	3 $\frac{22}{30}$	16	10240
17	3 $\frac{2}{5}$	3 $\frac{29}{30}$	17	11560
18	3 $\frac{3}{5}$	4 $\frac{6}{30}$	18	13360
19	3 $\frac{4}{5}$	4 $\frac{13}{30}$	19	14440
20	4	4 $\frac{2}{3}$	20	16000
21	4 $\frac{1}{5}$	4 $\frac{27}{30}$	21	17640
22	4 $\frac{2}{5}$	5 $\frac{4}{30}$	22	19360
23	4 $\frac{3}{5}$	5 $\frac{11}{30}$	23	37160
24	4 $\frac{4}{5}$	5 $\frac{18}{30}$	24	23040
25	5	5 $\frac{5}{6}$	25	25000

En adoptant les proportions indiquées dans la table précédente, le frottement d'une poulie fixe placée au haut d'une chèvre ou d'une grue, ou de toute autre manière, pour changer la direction de la puissance qui

tire un fardeau, augmentera l'effort de cette puissance de $\frac{1}{13}$, c'est-à-dire que pour un fardeau de 2400 livres, il faudra un effort de 2600 livres.

Si la corde qui passe sur la poulie est tirée par le moyen d'un treuil, le frottement augmentera de $\frac{1}{6}$, lequel, ajouté à $\frac{1}{13}$ pour celui de la poulie, donnera $\frac{1}{4}$ de plus pour la puissance; mais comme elle peut agir à l'extrémité d'un levier ou rayon dix fois plus grand que le rayon du treuil, l'effort sera $\frac{2400+600}{10}$, qui se réduit à 300 livres.

Si l'on ajoute une seconde poulie qui se meuve avec le fardeau en doublant le câble, le frottement de cette poulie mobile sera $\frac{1}{13}$, ce qui portera la totalité des frottemens à $\frac{7}{13}$; mais comme par cet arrangement la puissance n'agit que sur la moitié du fardeau, on aura $\frac{2400+700}{10\times 2}$, qui se réduit à 155. Mais si l'on a égard au temps, par cette dernière disposition, il faut qu'il soit double; supposant que dans le premier cas le temps est exprimé par 10, on aura pour résultat $300\times 10=3000$, et pour le second cas 155×20, qui donne 3100 plus grand de $\frac{1}{30}$ que le premier. Si l'on eût enlevé le fardeau immédiatement sans le secours de poulies ni de treuil, il aurait fallu une force égale au fardeau, c'est-à-dire de 2400; mais le temps n'étant que 1 par rapport à celui qu'exigent les autres moyens, le résultat ne sera que 2400; au lieu de 3000 et 3100 : ce qui prouve que le cas le plus avantageux est d'appliquer immédiatement au fardeau une puissance égale lorsque cela est possible; dans toutes les autres circonstances, il faut préférer la machine la moins compliquée, surtout pour les opérations de l'art de bâtir.

ADDITION A LA PAGE 382.

Explication de la planche CLII.

La figure 1 indique la manière d'élever un fardeau par le moyen d'un mât planté en terre et maintenu par quatre haubans.

Cette figure a été faite pour l'interprétation d'un passage de Vitruve, livre 10, chapitre V, où il parle de la simplicité de ce moyen; mais il ajoute qu'il faut avoir une certaine adresse pour s'en servir, en le faisant pencher à propos du côté où doit être posé le fardeau. Le nombre de moufles que les anciens adaptaient à cette machine, lui avait fait donner le nom de *polypastos*. On fait encore usage de ce moyen en Italie et en France pour les ouvrages maritimes : depuis peu, quelques charpentiers qui ont travaillé sur les ports en ont introduit l'usage à Paris, pour élever des bâtis de charpente faits à l'occasion des fêtes.

Les figures 2, 3 et 4 indiquent deux espèces de chèvres à trois pieds; l'une agit par le moyen d'un treuil ou moulinet à quatre barres, figure 2. Vitruve parle de cette machine au IIIme. chap. du dixième livre, il la désigne par le mot de *tripastos*, parce qu'elle agit avec des moufles à trois cordons.

L'autre porte dans le milieu du treuil un tambour ou grande poulie, sur laquelle s'entortille le câble qui doit être tiré par les hommes qui élevent le fardeau, ce qui leur donne un avantage proportionné au diamètre de ce tambour, à cause du plus grand développement du câble. Vitruve explique cette machine au chap. V du même livre.

Les figures 5 et 6 représentent deux chèvres modernes, qui ne se soutiennent que par des haubans. Celle indiquée par la fig. 5, agit par le moyen d'un treuil à tête carrée, percée de trous pour des barres mobiles.

Celle, figure 6, appelée grande chèvre, agit par le moyen d'un treuil à roue garnie de chevilles, porté par des poteaux aplomb, assemblés dans les montans et la traverse du bas de la chèvre.

La chèvre est allongée par le haut au moyen d'une pièce ou garouanne, assemblée dans les bras ou montans de la chèvre, et portant par le haut une poulie.

La figure 7 représente une manière de réunir deux chèvres, pour élever, sans haubans, des fardeaux très-lourds. Ce moyen ingénieux a été imaginé par M. de Regemorte, qui en a fait usage avec succès pour la construction du pont de Moulins.

La figure 8 indique une chèvre curieuse, en ce qu'au moyen du treuil de deux diamètres différens, il résulte de la manière dont le câble s'entortille sur les deux parties du treuil, après avoir passé sur les deux poulies du haut, qu'on peut ôter les barres du treuil sans que le fardeau descende, et qu'il demeure suspendu à la hauteur où il se trouve lorsqu'on ôte les barres du treuil.

La figure 9 est l'engin proprement dit; sa forme ressemble à celles des sonnettes à battre les pieux.

Cette machine agit par le moyen d'un treuil porté d'un bout dans le principal montant, et de l'autre dans un qui s'assemble avec deux traverses et la grande contre-fiche; elle est montée sur un patin appelé fourchette, composé de deux pièces assemblées à angle droit et entretenues par des liens.

Le principal poteau, étant arc-buté par trois grandes contre-fiches, n'a pas besoin d'être soutenu par des haubans.

Ce grand poteau se termine par une espèce de pivot conique, dans lequel s'enfile une pièce appelée *fauconneau*, portant deux poulies, dont une répond au treuil et l'autre au fardeau.

pendant, après avoir levé ces feuilles de cuivre, on découvrit une infinité de gerçures qui ne paraissaient point lorsqu'on les avait mises en place, et que la chaleur avait fait ouvrir. Il est probable que ces gerçures provenaient de quelques grains durs qui avaient écorché le cuivre en le laminant. L'effet du laminage avait tellement rapproché les bords de ces gerçures, qu'on ne pouvait pas les apercevoir; et la manière dont elles étaient réunies ne laissant pas assez de liberté au jeu de l'extension et de la rétractation du métal, aura sans doute contribué à les faire ouvrir plus tôt.

Des tuiles.

Pline le naturaliste attribue l'invention des tuiles à Cinyra, fils d'Agriopas, de l'île de Chypre; mais il est probable que les Assyriens, qui ont fait usage des briques cuites fort long-temps avant les Grecs, faisaient aussi des tuiles.

Précis de la fabrication des tuiles.

On trouve rarement de l'argile propre à faire seule de bonnes tuiles; on est presque toujours obligé d'y mêler d'autres terres ou du sable, en raison de ce qu'elles sont trop maigres ou trop grasses.

Il faut avoir la précaution de tirer la glaise pour les fabriquer à la fin de l'automne, et de l'étendre sur une grande superficie pour lui faire passer l'hiver, exposée à la pluie, à la gelée et au dégel, qui la fondent, pour ainsi dire, en pénétrant toutes les mottes ou grumeaux, ce qui la rend plus facile à pétrir et à corroyer.

Pour cette opération, on la distribue par tas de peu de hauteur, sur une aire circulaire. On la divise avec la houe, et on l'épluche en la partageant de toutes les matières étrangères qu'elle pourrait contenir. Ensuite on l'arrose et on la pétrit avec les pieds, à plusieurs reprises, en ayant soin de la changer de place chaque fois : c'est l'expérience qui indique combien cette opération doit être répétée, en raison de la nature de la glaise et de son mélange avec d'autres terres ou du sable.

La matière étant bien préparée, il faut la comprimer en la moulant, et ne la mettre au four qu'après l'avoir fait sécher avec précaution. Le temps nécessaire dépend de leur forme, de leur grandeur, et surtout de leur épaisseur, ainsi que de la saison où elles sont moulées.

Les tuiles exigent une pâte plus fine, mieux corroyée et plus comprimée que les briques.

En général, c'est au son, à la texture intérieure, qu'on connaît la bonne tuile; la couleur plus ou moins foncée dépend de l'espèce de terre.

Relativement à la forme, on en distingue de quatre espèces qui sont le plus en usage, planche CLII.

Les tuiles creuses en forme de canal sont indiquées par A, B, indique les tuiles à doubles courbures formant S, ou tuiles flamandes; C, les tuiles plates à rebord, dont on se sert à Rome; D, les tuiles plates sans rebord et portant crochet ou des trous pour être attachées avec des clous.

Le genre de couverture le plus ancien et le plus solide est celui à la romaine qui est encore en usage en Italie; il se compose de deux espèces de tuiles, les unes plates et à rebords et les autres creuses.

Pour faire cette espèce de couverture, on commence à

placer sur les chevrons, espacés d'environ un pied de milieu en milieu, de grandes briques posées de plat qui vont d'un chevron à l'autre, figure 1; ces briques, appelées à Rome *pianelle*, ont 11 pouces et demi de long, 5 pouces 10 lignes de large et 13 lignes d'épaisseur; elles sont jointes l'une à l'autre avec du mortier. Sur cette espèce de carrelage on pose les tuiles plates à rebords par rangs dans le sens de la pente; comme elles sont plus larges d'un bout que de l'autre, on les fait recouvrir l'une sur l'autre d'environ trois pouces en les faisant entrer l'une dans l'autre; lorsqu'on veut faire des couvertures très-solides, on les pose en mortier, mais ordinairement on ne s'en sert que pour les tuiles du bas.

Les tuiles qui forment ces rangées sont éloignées les unes des autres, dans leur plus grande largeur, d'environ un pouce. L'intervalle qu'elles laissent entre elles est recouvert par des tuiles creuses dont la partie ronde est en dessus, et qui se recouvrent les unes et les autres comme les tuiles plates à rebords de dessous avec lesquelles elles se raccordent, ainsi qu'on le voit indiqué par les figures 1 et 2, dont une partie fait voir les chevrons, l'autre les briques ou *pianelle*, les rangées de tuiles plates à rebord appelées *tegole*, et les tuiles creuses qui recouvrent les intervalles, nommées *canali*.

La grandeur de ces tuiles varie dans les différens endroits de l'Italie où l'on en fait usage; mais elles sont fixées à Rome, où leurs mesures sont gravées au Capitole sur une table de marbre.

La longueur des *tegole* et des *canali*, est de 15 pouc. $\frac{3}{4}$. La plus grande largeur des *tegole* est de 12 pouces 4 lignes,

et la plus petite de 9 pouces 3 lignes. Les rebords de droite et de gauche ont 11 lignes de hauteur et 10 lignes de largeur. L'épaisseur de la tuile, entre les bords, est de 10 lignes.

La plus grande largeur ou diamètre des tuiles creuses appelées *canali* est de 8 pouces 11 lignes; la plus petite de 6 pouces 6 lignes sur 8 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur.

Lorsque toutes ces tuiles sont posées en mortier, elles forment des couvertures indestructibles. Il existe à Rome un très-ancien temple voûté, dont la couverture en tuiles est aussi ancienne que ce temple, connu sous le nom de l'Honneur et de la Vertu, et actuellement l'église de Saint-Urbin au-dessus de la fontaine Égérie. Le sceau, imprimé sur quelques-unes de ces tuiles, porte le nom de l'impératrice Faustine, femme d'Antonin, ce qui placerait l'époque de la construction de ce temple à plus de seize siècles.

Ces tuiles sont de même forme que celles dont il vient d'être question, mais un peu plus grandes. Les Romains désignaient les tuiles plates à rebords sous le nom de *tegulæ hamatæ*, et les tuiles creuses qui servaient à les recouvrir, sous celui de *tegulæ imbricatæ* ou simplement *imbrices*.

J'ai mesuré, dans les ruines des thermes de Caracalla, des parties de couverture de ce genre dont les tuiles avaient plus de 2 pieds de longueur sur près de 20 pouces de largeur; ces parties adhérentes aux murs étaient encore en très-bon état; le surplus a été détruit avec les voûtes qu'elles couvraient. Les tuiles de marbre trouvées à Pouzzol, dont il a été ci-devant question, étaient de même forme et de même grandeur.

Dans les parties méridionales de la France et dans plusieurs autres pays, on fait des couvertures qui ne sont composées que des tuiles creuses semblables à celles que les Italiens appellent *canali ;* leur grandeur varie dans différens pays. Celles qu'on emploie le plus ordinairement ont de longueur 15 pouces ; leur largeur, par le grand diamètre, est de 7 pouces 6 lignes, environ moitié de leur longueur. Le diamètre du petit bout est de 5 pouces 7 lig. $\frac{1}{2}$; la courbure ne forme pas tout-à-fait un demi-cercle, mais un arc d'environ 150 degrés ; leur épaisseur est d'un demi-pouce.

Pour former cette espèce de couverture, il ne faut pas que la pente du comble soit de plus de 26 degrés , c'est-à-dire que pour un comble à deux pentes comme un fronton, sa hauteur ne doit pas être plus du quart de sa base et de la moitié pour une seule pente ; ordinairement on leur donne la proportion du fronton ou le cinquième de la base pour chaque pente, ou 22 degrés d'inclinaison. Voyez à ce sujet l'article *comble*, pag. 157.

Si le comble est en charpente, il faut d'abord qu'il soit couvert en planches clouées sur les chevrons ; et, s'il est en maçonnerie, il faut qu'il présente une surface dressée selon une pente uniforme, comme celles en planches du comble en charpente ; sur la surface du comble ainsi préparée, on commence par disposer en ligne droite, selon la direction de la pente, deux rangées de tuiles dont la surface creuse est en dessus. Ces tuiles, qui sont plus étroites d'un bout que de l'autre, doivent se recouvrir d'environ deux pouces et former deux espèces de rigoles ou chêneaux continus. Comme elles sont placées sur le dos qui est rond, pour les fixer on les accote de droite et de gauche

avec de petites pierres ou des débris des vieilles tuiles ; et, pour empêcher les premières tuiles du bas de glisser, on les pose en mortier. Ces rangées doivent être éloignées l'une de l'autre d'environ 1 pouce $\frac{1}{2}$, à l'endroit où les tuiles sont le plus larges. Cet intervalle est recouvert par d'autres tuiles dont la partie ronde est en dessus, qui se recouvrent les unes et les autres, et forment des cordons saillans qui jettent l'eau dans ceux qui forment chêneaux. A Lyon on donne le nom de *chanées* aux tuiles de dessous, et celui de *chapeaux* aux tuiles de dessus. Les figures 3 et 4 indiquent l'arrangement de cette espèce de couverture.

Lorsque le comble est à deux pentes, on recouvre l'angle qu'ils forment avec de plus grandes tuiles de même forme qui se posent en mortier et à recouvrement les unes sur les autres ; on forme les nouës avec ces mêmes tuiles posées de même en mortier et à recouvrement.

Lorsqu'on veut rendre cette couverture très-solide, on pose toutes les tuiles en mortier, comme je l'ai vu pratiqué pour des églises dont la couverture, aussi ancienne que l'édifice, s'était conservée en très-bon état.

Couvertures en tuiles flamandes.

Ces tuiles, qui sont à double courbure en forme d'S, sont en usage en Flandre, en Hollande et en plusieurs autres pays d'Allemagne ; comme elles portent derrière un crochet, elles peuvent se placer sur des combles dont la pente est plus roide, c'est-à-dire depuis 30 jusqu'à 40 degrés.

Ces tuiles, qui ont une partie convexe et une con-

cave, se recouvrent sur leur longueur et sur leur largeur; elles forment, comme les couvertures en tuiles creuses, des cordons selon la pente du comble.

Le crochet ou tasseau qu'elles portent par-derrière, fait qu'elles peuvent se poser sur un lattis comme les tuiles plates; mais, comme elles ont peu de recouvrement et qu'elles sont toujours un peu gauches, elles ont besoin d'être mastiquées dans leurs joints, pour que l'eau n'y pénètre pas dans les grandes pluies. D'ailleurs elles s'arrangent mal et présentent un effet plus désagréable que les autres couvertures en tuiles creuses ordinaires. Les figures 5 et 6 présentent les détails des couvertures en tuiles flamandes.

Des couvertures en tuiles plates, figures 7 et 8.

Cette espèce de couverture convient mieux pour les combles qui ont beaucoup de pente, que pour ceux qui en ont peu. Pour ces dernières, les couvertures en tuiles creuses sont préférables, parce que l'eau qui se rassemble dans les rangées de tuiles qui forment chêneaux, a plus de facilité et de force pour s'écouler, que l'eau éparse sur des couvertures plates qui n'ont pas beaucoup de pente et que les vents, dans les grands orages, font remonter au-dessus des recouvremens.

La moindre pente qu'on puisse donner à ces couvertures, est de 27 degrés jusqu'à 60; ainsi elles peuvent servir pour tous les pays dont la lattitude est au-dessus de 48 degrés; on peut voir ce que nous avons dit ci-devant au sujet de la pente des combles, page 157.

La forme des tuiles plates est ordinairement rectan-

gulaire, plus longue que large; elles portent par-derrière une espèce de tasseau de même matière qui sert à les accrocher, et quelquefois des trous pour les fixer plus solidement avec des clous. Il faut que les tuiles soient un peu cambrées sur leur hauteur afin qu'elles joignent mieux par le bas. La partie apparente ou pureau, doit être en général du tiers de la hauteur de la tuile.

Les dimensions des tuiles, à Paris, sont, pour le grand moule, de 11 pouces $\frac{1}{2}$ de longueur ou hauteur, sur 8 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur. Leur épaisseur est de 7 lignes, et leur poids est d'environ 4 livres.

Pour le petit moule, la longueur est de 9 pouces $\frac{1}{2}$ et la largeur de 6 pouces $\frac{3}{4}$ sur un peu moins de 6 lignes d'épaisseur, le cent pèse 270 livres.

Les tuiles faîtières, qui sont creuses, ont de longueur 14 pouces sur 12 p. de contour ou 9 p. de diamètre; à Paris elles sont cylindriques et ne se recouvrent pas; c'est une mauvaise méthode imaginée par les couvreurs de Paris, qui font payer les plâtres aussi cher que la couverture; elle nuit à la solidité de l'ouvrage, coûte plus cher et exige plus d'entretien.

Les dimensions à donner aux tuiles plates sont, en général, que leur largeur soit les deux tiers de leur longueur, et leur épaisseur le vingtième.

Pour les faîtières, leur longueur devrait être égale à leur contour pris en dessus sur un vingtième d'épaisseur.

Pour faire une couverture en tuiles plates, il n'est pas nécessaire que les chevrons soient recouverts en planches, il suffit que les chevrons soient bien arrêtés et dressés par-dessus; lorsqu'ils ne le sont pas assez exactement, le premier soin des couvreurs doit être de recouper les

parties trop hautes ; ils ont pour cela un outil qui forme hachette d'un côté et marteau de l'autre.

Sur la superficie des chevrons bien dressée, les ouvriers posent des lattes en commençant par le bas ; ces lattes sont en bois de chêne refendu ; elles doivent être de droit fil sans nœuds, clouées sur chaque chevron. On les pose par rangs de niveau et en liaison, c'est-à-dire que les bouts des lattes ne doivent pas se trouver à chaque rang sur le même chevron, mais sur des chevrons différens afin de les mieux lier ensemble. Cet arrangement produit une grande solidité tant pour la charpente que pour la couverture. La distance des rangs de lattes doit être du tiers de la hauteur de la tuile. Ces lattes, qu'on désigne sous le nom de lattes carrées, ont 4 pieds de longueur, afin de pouvoir être clouées sur quatre chevrons espacés d'un pied ; c'est ce qu'on appelle les *quatre à la latte* ; autrefois ces lattes avaient deux pouces de largeur et environ 3 lignes d'épaisseur ; mais, par un abus que le gouvernement devrait réprimer, ces lattes n'ont plus que 18 à 20 lignes de largeur sur environ 1 ligne $\frac{1}{2}$ d'épaisseur ; ce qui rend les couvertures beaucoup moins solides et par conséquent moins durables et sujettes à plus d'entretien.

Le clou dont on se sert pour attacher ces lattes a un pouce de long ; lorsqu'il est fin, il en faut 320 pour une livre, et ordinairement 260.

Les lattes étant posées, on commence la couverture par le rang du bas qui forme égout ; il peut être fait de trois manières différentes ; savoir : à *égoût simple*, à *égoût retroussé* et à *égoût pendant*, figures 7, 8, 9 et 10.

1°. Lorsqu'au bas d'un comble il se trouve une corniche avec un chêneau destiné à recevoir les eaux de la couverture, c'est le cas d'un égoût simple, c'est-à-dire, qu'on se contente de faire recouvrir le bord du chêneau par le premier rang de tuiles.

2°. S'il se trouve une corniche sans chêneau, on forme un égoût retroussé; pour cela on commence à poser un premier rang de tuiles en plâtre ou en mortier sur le bord de la corniche qui avance au-delà de la cimaise, d'environ 4 pouces; le premier rang doit avoir un peu de pente en dehors; on double le premier rang par un second posé en liaison, qui n'avance pas plus que le premier et qui se nomme *doublis*.

Lorsqu'on ne met que deux rangs de tuiles pour former l'égoût retroussé, on dit qu'il est simple; ceux qu'on appelle doubles sont formés de cinq rangs de tuiles, mais ces derniers sont rarement nécessaires. Les couvreurs disposent quelquefois le premier rang de tuiles diagonalement, comme l'indique la figure 11, en sorte que le bord forme une dentelure comme une scie. On pose le second rang à l'ordinaire, et pour faire paraître cette dentelure, on blanchit les tuiles d'un de ces rangs et on noircit celles de l'autre. Ce moyen est plus coûteux, parce qu'il exige un troisième rang.

3°. L'égoût pendant n'a lieu que lorsqu'il n'y a pas de corniche pour soutenir le bas de la couverture. Pour former cette espèce d'égoût, on commence par clouer, sur les bouts des chevrons qui doivent avancer de 18 pouces environ au-delà du parement extérieur du mur de face, un rang de planches appelées chanlattes, taillées

en couteau, c'est-à-dire, plus épaisses d'un bord que de l'autre, afin de procurer au premier rang de tuiles le relèvement nécessaire pour former l'égoût. Sur ces chaulattes on pose un double rang de tuiles, comme il a été ci-devant expliqué.

L'égoût étant formé comme il convient, on accroche sur le premier rang de lattes, au-dessus des tuiles qui forment l'égoût, un rang de tuiles qui forme *pureau* sur celles de l'égoût; comme elles prennent une autre inclinaison, il est à propos de doubler le bas de ce premier rang par des demi-tuiles posées en plâtre ou en mortier. Sur ce premier rang on en accroche un second, de manière que les joints montans répondent au milieu de la largeur des tuiles du premier rang. Comme les rangs de lattes ne sont éloignés que du tiers de la longueur de la tuile, il en résulte que la partie apparente du premier rang ainsi que des autres, n'est que le tiers de la longueur de la tuile; c'est cette partie apparente que les couvreurs appellent *pureau*.

On continue à poser les autres rangs de tuiles en allant de bas en haut, et en observant de faire les pureaux d'égale hauteur et bien alignés en dessous, et que les joints montans de chaque rang répondent toujours au milieu des tuiles de dessous jusqu'à ce qu'on soit parvenu au sommet du comble. Lorsque le comble est à deux pentes, on recouvre l'angle que forment ces pentes à leur réunion par un rang de tuiles creuses, auxquelles on donne le nom de tuiles faîtières, dont il a été ci-devant question, qu'on pose en plâtre; mais comme à Paris ces tuiles sont cylindriques, c'est-à-dire, d'égale largeur par les deux bouts, elles ne peuvent pas s'emboi-

ter pour se recouvrir, et on est obligé de faire les joints en plâtre, ce qui n'est pas aussi solide.

On termine les toits à une seule pente, et les pignons, par des filets en plâtre qu'on désigne sous les noms de *solins* quand ils sont isolés, et de *ruellées* lorsqu'ils sont le long des murs.

Les plis que forment les surfaces des combles en suivant la direction des murs se nomment *arétiers*, au droit des angles saillans, et *noues* au droit des angles rentrans.

Pour raccorder ces angles, on est obligé de couper les tuiles diagonalement, de manière à conserver le crochet, sinon on les cloue. Comme ces tuiles coupées ne se joignent pas assez exactement pour empêcher les eaux de pénétrer, on recouvre les angles saillans ou arétiers, d'un filet de plâtre d'environ un pouce et demi de largeur, qui enveloppe de chaque côté les parties tranchées.

Pour les angles rentrans appelés *noues*, on laisse un intervalle entre les arêtes tranchées qui terminent les pentes, et on pose en dessous une rangée de tuiles creuses à recouvrement, posées en mortier ou en plâtre, pour former un chêneau dans lequel une partie des eaux des deux pentes vient se rendre.

On faisait autrefois des couvertures en tuiles peintes et vernissées jaunes et vertes, qu'on disposait par compartimens de mosaique et qui produisaient un assez bel effet, surtout lorsque le soleil donnait dessus. On en fait encore usage en Italie; presque tous les dômes du royaume de Naples sont couverts de cette manière. On a trouvé beaucoup de ces tuiles dans la couverture

de l'ancienne église Sainte-Geneviève qu'on vient de démolir ; elles paraissaient aussi anciennes que l'édifice.

A Lyon, et dans plusieurs villes de France où l'ardoise est rare, on fait usage de ces tuiles vernissées et peintes en noir pour couvrir les brisis des combles à la Mansard, J'ai vu, dans plusieurs anciens châteaux, des pavillons couverts de cette manière, qui existaient depuis plusieurs siècles sans avoir eu besoin de réparation. Dans le projet de coupole que j'ai publié en 1803, pour couvrir la cour de la halle au blé de Paris, j'avais proposé de faire usage de tuiles vernissées couleur d'ardoise. Ce genre de couverture est en même temps le plus solide et le plus durable; celui qui est le plus propre à mettre les édifices à l'abri des intempéries de l'air et des incendies, parce qu'il peut résister aux orages, aux coups de vents les plus impétueux et à la violence du feu.

Les pentes des couvertures se trouvent interrompues par des lucarnes de plusieurs façons, qu'on désigne sous les noms de lucarnes demoiselles,

à la capucine,
à chevalet,
flamandes,
rondes,
bombées,
carrées, etc.

Ces lucarnes exigent des couvertures différentes ; les unes sont à une seule pente et les autres à plusieurs. Toutes ces couvertures s'exécutent comme les précédentes, en observant de faire les faîtages, les noues et les arétiers, comme nous l'avons expliqué pour les grandes couvertures.

Des couvertures en ardoise.

L'ardoise est une espèce de pierre schisteuse dont on fait beaucoup d'usage pour les couvertures, à cause de la propriété qu'elle a de pouvoir se débiter en lames fort minces, très-unies et légères, d'une couleur plus agréable et plus uniforme que les tuiles qui ne sont pas vernissées; mais elle a le désavantage d'être moins durable. Les ardoises se font actuellement si minces, que le moindre coup de vent en dépouille les combles qu'elles laissent tout à coup exposés aux grandes pluies dans les temps d'orages; elles ont encore l'inconvénient d'éclater au feu, en sorte que, dans les cas d'incendie, le lattis et la charpente étant découverts, il en résulte un embrasement qu'il n'est plus possible d'éteindre.

Dans un climat tel que Paris, l'ardoise ne convient pas pour la couverture des combles qui ont moins de 30 degrés d'inclinaison. Voyez ce que nous avons dit ci-devant en parlant de la pente des combles, page 159.

Les ardoises dont on se sert à Paris se tirent des carrières d'Angers; elles passent pour être de la meilleure qualité. Ces carrières sont si abondantes, qu'il s'en fait un commerce considérable, tant pour la France que pour les pays étrangers. On en distingue de trois qualités; l'une fort dure, qui se fend difficilement, et s'emploie comme moellon dans les environs d'Angers; l'autre ne présente d'abord qu'une espèce d'argile bleue qui n'acquiert de dureté qu'après avoir été exposée à l'air pendant quelque temps; enfin la moyenne, qu'on débite pour les couvertures.

Les meilleures ardoises ont un son clair et la couleur d'un bleu léger : celles dont la couleur tire sur le noir s'imbibent d'eau plus facilement. Les bonnes ardoises sont plus dures et plus raboteuses au toucher que les mauvaises, qui sont aussi douces que si on les eut frottées d'huile.

Les parties argileuses dont se compose l'ardoise étant extrêmement fines et rapprochées, sa pesanteur spécifique est plus considérable que celle des pierres les plus dures. Elle va à plus de 3000, ce qui fait 221 livres par pied cube, tandis que les basaltes et les porphyres les plus durs et les plus compactes, ne passent pas 215.

On débite, dans les carrières d'Angers, des ardoises de quatre échantillons différens; 1°. la grande carrée forte, de 11 pouces de long sur 8 pouces de large, dont l'épaisseur varie de une ligne $\frac{1}{3}$ à une ligne $\frac{3}{4}$.

2°. La grande carrée fine, de mêmes longueur et largeur que la précédente, dont l'épaisseur varie depuis $\frac{1}{3}$ de ligne jusqu'à $\frac{3}{4}$ de ligne.

3°. Les ardoises appelées cartelètes n'ont que 8 pouces de long, sur 6 pouces de large; celles appelées fortes portent depuis une ligne $\frac{1}{4}$ jusqu'à une ligne $\frac{3}{4}$ d'épaisseur.

4°. Les cartelètes minces ont même longueur et même largeur, mais leur épaisseur varie depuis $\frac{1}{3}$ de ligne jusqu'à $\frac{3}{4}$. Il y a environ 40 ans que les marchands vendaient séparément les ardoises fortes et les faibles; on payait les fortes trois ou quatre francs par mille de plus que les minces; actuellement ils les mêlent et les vendent toutes le même prix, ce qui fait beaucoup de tort, tant aux couvreurs à cause de la casse, qu'aux

propriétaires, parce que les couvertures d'ardoises mêlées sont moins solides et durent beaucoup moins. Le moindre coup de vent emporte les plus minces, indépendamment de ce que les ardoises étant posées en liaison les unes sur les autres, celles qui portent sur des ardoises de différente épaisseur ne joignent pas aussi bien, portent à faux et se rompent plus facilement. Il serait autant de l'intérêt du gouvernement que de celui des particuliers, de fixer les épaisseurs des ardoises, et d'en donner communication à ceux qui les exploitent dans les carrières. A partir d'une époque fixée, on n'admettrait plus sur les ports les ardoises dont l'épaisseur serait moindre d'une ligne. Quant à celles déjà débitées ou qui sont sur les ports, on en ordonnerait le triage, en accordant un temps limité pour la vente.

Le millier d'ardoises, dite grande carrée forte, pèse de 11 à 1200 livres.

Le millier des grandes carrées fines de 4 à 500.

Le millier d'ardoises cartelètes fortes de 7 à 800.

Le millier des cartelètes fines de 3 à 400.

Les grandes ardoises s'emploient à 4 pouces de pureau; il en faut 162 pour une toise superficielle et 42 pour un mètre carré.

Les cartelètes s'emploient à 3 pouces de pureau; il en faut 288 pour une toise superficielle, 74 pour un mètre carré.

On tire encore des ardoises des environs de Charleville, de Fumay et de Rimogne, département des Ardennes. Celles qu'on tire des environs de Charleville sont grises, leurs surfaces sont moins lisses que celles des ardoises

TABLEAU COMPARATIF

Des Ardoises d'Angers avec celles de Charleville et de Fumay, département des Ardennes.

	PESANTEUR spécifique.	POIDS d'un pied cube.			QUANTITÉ d'eau dont elles se pénètrent.	DIMENSIONS. En anciennes mesures. Longueur.	Largeur.	Epaisseur.	En mesures métriques. Longueur.	Largeur.	Épaisseur.	FORCE en livres.		en Kilogramm.	POIDS d'un millier en livres.	en Kilogramm.	QUANTITÉ nécessaire pour une toise carrée.	pour un mètre carré.
		liv.	on.	gros.		pouces.	pouces.	ligne.				liv.	on.					
Ardoise d'Angers, dite grande carrée forte.	2786	195	0	2	$\frac{1}{70}$	11	8	1 $\frac{1}{2}$	0,298	0,217	0,003	24	8	11,992	1248	610,903	162	42
Ardoise *idem*, dite fine.	2797	195	12	4	$\frac{1}{47}$	11	8	1 $\frac{1}{2}$	0,298	0,217	0,003	5	8	2,692	416	203,634	162	42
Ardoise *idem*, dite Cartelette.	2840	198	12	9	$\frac{1}{75}$	8	6	1 $\frac{1}{2}$	0,217	0,162	0,003	21		10,280	695	340,207	288	75
Ardoise de Charleville, grand échantillon.	2818	197	4	1	$\frac{1}{81}$	10	7	1 $\frac{1}{2}$	0,271	0,189	0,003	22	12	11,136	986	482,653	220	56
Ardoise *idem*.	2704	189	4	3	$\frac{7}{70}$	10	6	1 $\frac{3}{4}$	0,271	0,162	0,0035	9		4,406	473	231,536	312	80
Ardoise de Fumay, fosse de Charnoi, dite de Bateau. .	2700	189	0	0	$\frac{1}{114}$	9	6	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	22	8	11,013	598	292,725	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	2987	209	1	3	$\frac{1}{63}$	9	6	1 $\frac{3}{4}$	0,244	0,162	0,0035	9	8	4,650	418	204,613	312	80
Ardoise *idem*, fosse de Sainte-Anne, dite de Bateau. .	3134	219	10		$\frac{1}{92}$	9	6	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	27	12	13,584	678	331,885	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	2936	205	8	2	$\frac{1}{55}$	9	6	1 $\frac{3}{4}$	0,244	0,162	0,0035	9	8	4,650	412	201,676	312	80
Ardoise *idem*, fosse de Limeri, dite de Bateau.	2772	196	0	5	$\frac{1}{47}$	9	6	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	29	4	14,318	873	427,339	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	3091	216	5	7	$\frac{1}{68}$	9	6	1	0,244	0,162	0,002	13	12	6,731	430	210,487	312	80

PARATIF

Des Ardoiset de Fumay, département des Ardennes.

	DIMENSIONS.				FORCE			POIDS d'un millier		QUANTITÉ nécessaire	
	ures.	En mesures métriques.									
	Épaisseur.	Longueur.	Largeur.	Épaisseur.	en livres.		en kilogramm.	en livres.	en kilogramm.	pour une toise carrée.	pour un mètre carré.
	ligne.				liv.	on.					
Ardoise d'Angers, dite grande carrée forte. .	1 $\frac{1}{2}$	0,298	0,217	0,003	24	8	11,992	1248	610 903	162	42
Ardoise *idem*, dite fine.	1 $\frac{1}{2}$	0,298	0,217	0,003	5	8	2,692	416	203,634	162	42
Ardoise *idem*, dite Cartelette.	1 $\frac{1}{2}$	0,217	0,162	0,003	21		10,280	695	340,207	288	75
Ardoise de Charleville, grand échantillon. . .	1 $\frac{1}{2}$	0,271	0,189	0,003	22	12	11,136	986	482,653	220	56
Ardoise *idem*.	1 $\frac{3}{4}$	0,271	0,162	0,0035	9		4,406	473	231,536	312	80
Ardoise de Fumay, fosse de Charnoi, dite de F	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	22	8	11,013	598	292,725	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	1 $\frac{3}{4}$	0,244	0,162	0,0035	9	8	4,650	418	204 613	312	80
Ardoise *idem*, fosse de Sainte-Anne, dite de F	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	27	12	13,584	678	331,885	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	1 $\frac{3}{4}$	0,244	0,162	0,0035	9	8	4,650	412	201,676	312	80
Ardoise *idem*, fosse de Limeri, dite de Bateau	1 $\frac{1}{2}$	0,244	0,162	0,003	29	4	14,318	873	427,339	312	80
Ardoise *idem*, dite de Chariot.	1	0,244	0,162	0,002	13	12	6,731	430	210,487	312	80

d'Angers; elles sont plus grossières et plus cassantes; on en forme de deux échantillons différens.

Les grandes, qu'on désigne sous le nom de grand Saint-Louis, se tirent de Devillé-sur-Meuse; elles ont 7 pouces de largeur sur 10 pouces réduits de longueur, parce qu'elles ne sont pas écarries par le haut; on les pose à 3 pouces $\frac{1}{4}$ de pureau, en sorte qu'il en faut 220 pour une toise superficielle et 56 pour un mètre carré; leur épaisseur est d'environ une ligne $\frac{3}{4}$; le poids du millier est évalué à 800.

L'autre échantillon, appelé petit Saint-Louis, porte 6 pouces de largeur sur 9 pouces $\frac{1}{2}$ réduits de longueur, et environ $\frac{3}{4}$ de ligne d'épaisseur. Elle se pose à 3 pouces $\frac{1}{4}$ de pureau, de sorte qu'il en faut 312 pour une toise superficielle, et 74 pour un mètre carré.

Les ardoises de Fumay, connues sous le nom de poil noir, sont d'un noir roux; on en débite de deux espèces de mêmes largeur et longueur, qui ne diffèrent que par leur épaisseur. Leur largeur est de 6 pouces, et leur longueur réduite est de 9 pouces; elles se posent à 2 pouces $\frac{3}{4}$ du pureau; il en faut 312 pour une toise superficielle, et 74 pour un mètre carré : les fortes ont environ une ligne $\frac{1}{4}$ d'épaisseur, et les faibles $\frac{3}{4}$ de ligne. Le poids du millier des ardoises fortes varie de 6 à 700, et celui des faibles de 350 à 400.

Nous avons réuni, dans le tableau ci-contre, tout ce qu'il est intéressant de connaître pour la comparaison des différentes espèces d'ardoises qu'il contient, et qui sont le plus en usage pour les couvertures. Il en résulte que pour Paris ce sont les ardoises d'Angers qui méritent la préférence, surtout la qualité désignée sous le nom de grande carrée forte.

Manière dont se fait la couverture d'ardoise à Paris, figures 12 *et* 13.

On commence, comme nous l'avons expliqué pour les couvertures en tuiles plates, par dresser les chevrons et latter en commençant par le bas. On emploie quelquefois des lattes carrées, comme pour les tuiles, dont la largeur est d'environ 3 pouces. Mais, pour faire de meilleur ouvrage, on se sert de lattes de sciages de 4 pieds de longueur sur 4 à 5 pouces de large. Ces lattes se vendent par bottes qui en contiennent 26; il en faut 18 pour une toise carrée; elles sont en bois de chêne et doivent être de droit fil, sans nœuds ni aubiers. Pour fortifier ce lattis, on met, entre les chevrons, des contre-lattes de 4 pouces de largeur sur 8 lignes d'épaisseur; elles se vendent aussi par bottes, qui en contiennent 10 de 6 pieds de longueur. Pour une toise carrée il faut environ 5 toises de longueur de contre-lattes.

Les lattes s'attachent sur quatre chevrons avec deux cloux sur chacun, placés à 1 pouces $\frac{1}{4}$ de distance l'un de l'autre.

Ces lattes se posent, comme pour les couvertures en tuiles, par rangs horizontaux et en liaison. Les contre-lattes se mettent sous les lattes, entre les chevrons; on les arrête avec deux cloux à la rencontre de chaque latte.

Lorsqu'on veut se dispenser de contre-lattes, on pose sur les chevrons des lattes voliges, c'est-à-dire, des planches de sapin de 6 lignes d'épaisseur sur 6 à 7 pouces de largeur et 6 pieds de long, qu'on arrête avec trois cloux sur chaque chevron; ce moyen est préférable, parce qu'il produit une superficie plus droite et plus

solide. Souvent on emploie des voliges en peuplier et autres bois blancs au lieu de sapin, qui font des lattes moins solides et moins durables.

Le lattis étant fait, avant de poser l'ardoise on forme l'égoût, c'est-à-dire, le bord inférieur de la couverture. Cet égoût peut se faire de trois manières, comme pour les couvertures en tuiles, c'est-à-dire, simple, retroussé ou pendant.

L'égoût simple se fait en posant le premier rang d'ardoises, de manière qu'elles recouvrent le chêneau pour verser les eaux dedans. Les égoûts retroussés se font en tuiles, comme nous l'avons ci-devant expliqué; on a seulement la précaution de peindre ces tuiles en noir, pour ne pas faire disparate avec l'ardoise. A partir de l'égoût, le surplus de la couverture s'opère comme pour la tuile, en posant les ardoises par rangs horizontaux et en liaison, et bien alignées par le bas, arrêtées chacune avec deux cloux ; on donne au pureau ou partie apparente, le tiers de la longueur de l'ardoise. Il faut remarquer que le pureau est le même, quelle que soit la pente des toits. Il serait cependant convenable que le pureau fût moins grand pour les toits qui ont peu de pente que pour ceux qui en ont beaucoup; ainsi, sur les combles à la Mansard, dont la partie inférieure a plus de 60 degrés de pente, les ardoises pourraient avoir des pureaux des trois quarts de leur hauteur, tandis que, pour la partie supérieure des mêmes combles, dont la pente est de moins de 30 degrés, les pureaux pourraient être réduits jusqu'au quart. Sur des combles à 45 degrés, les pureaux partageraient les ardoises en deux également.

Dans les combles à la Mansard, on observe de former

au droit du brisis un petit égoût de 2 ou 3 pouces de saillie, pour recouvrir le dernier rang d'ardoises de la partie inférieure; quelquefois on y met une bavette de plomb.

Dans les combles des bâtimens d'une certaine importance, on forme en plomb les faîtages, les noues, les chêneaux, les arétiers et le dessus des lucarnes.

On peut cependant, lorsqu'on veut y mettre de l'économie, se dispenser de plomb pour les faîtages, les arétiers et les noues, en les formant en tuiles creuses, comme nous l'avons ci-devant expliqué pour les couvertures en tuiles. On peint les tuiles du faîtage et des arétiers en noir à l'huile. Pour former les arétiers et les noues, on coupe les ardoises diagonalement. Pour les arétiers qui ne doivent être recouverts ni en plomb ni en tuiles, on a soin de tailler les ardoises de manière qu'elles forment juste l'arétier, et que les unes recouvrent exactement l'épaisseur des autres, afin que l'eau ne puisse pas s'introduire dans les joints. On peut poser par le bas une petite bavette de plomb taillée en *oreille de chat*, qui ait un peu plus de saillie que l'ardoise.

Des couvertures en plomb, figures 14 *et* 15.

Cette manière de couvrir n'a lieu que pour les combles de quelques grands édifices. C'est de cette manière qu'est faite la couverture de l'église Notre-Dame de Paris, et autrefois l'église de Saint-Denis en France. On en fait usage pour couvrir les dômes, les parties des combles auxquelles on ne peut donner que très-peu de pente.

Une couverture en plomb, bien faite, est extrêmement

solide et durable; mais elle est très-lourde et fort coûteuse; elle a encore l'inconvénient que, dans les cas d'incendie, le plomb qui fond empêche qu'on en puisse approcher pour y porter des secours immédiats, lorsque le comble est en charpente. On ne court pas les mêmes risques quand il est posé sur des voûtes; mais on peut les en dépouiller et laisser les édifices exposés aux intempéries de l'air, comme il est arrivé pour l'église de Saint Denis. Nous allons cependant expliquer la manière de les faire dans le cas où l'on serait obligé d'en faire usage.

Lorsque les chevrons du comble que l'on veut couvrir en lames de plomb sont arrêtés et bien dressés par-dessus, on pose les voliges qui ont ordinairement 4 à 5 pouces de largeur, par rangs horizontaux espacés d'environ 2 pouces. Après cette opération, les plombiers qui exécutent ordinairement cette espèce de couverture, commencent par poser le chêneau qui doit régner au bas du comble; le dossier de ce chêneau étant bien rabattu sur le premier rang de voliges, on pose au-dessus un rang de crochets de fer, plats, terminés par le haut en pates percées de trois trous pour les clouer. Ces crochets doivent être posés de manière que la table de plomb qu'ils soutiennent, puisse recouvrir le dossier du chêneau de plomb; ce recouvrement doit être plus grand en raison de ce que le comble a moins de pente, il peut varier de 3 pouces jusqu'à 6. Cela fait, le plombier pose le premier rang de table de manière que le bas entre dans les crochets, ensuite il l'étend et le dresse avec une batte de bois, et il l'arrête par le haut, au droit de chaque chevron, avec de forts clous assez longs pour traverser le plomb, les voliges et une

partie du chevron. Ces clous ont ordinairement 2 pouces $\frac{1}{2}$ de longueur.

Les tables de plomb dont on se sert pour les couvertures, ont ordinairement 3 pieds de large sur 12 à 15 pieds de long et 1 ligne $\frac{1}{2}$ ou 2 d'épaisseur. Elles se posent de manière que la largeur est suivant la pente du comble.

Il faut observer de ne pas arrêter les bouts des tables de plomb qui forment un même rang, avec des soudures, parce qu'elles sont sujettes à se rompre par l'effet de la dilatation et de la condensation que peut éprouver ce métal selon la température de l'air; il vaut beaucoup mieux replier les bords des tables qui doivent se joindre de manière à former un bourlet marqué *b*, figures 14 et 15, que l'on arrondit avec la batte.

Le premier rang des tables étant arrêté en place, on pose les autres en suivant les mêmes procédés jusqu'au haut du comble, que l'on recouvre d'un enfaîtement s'il est à deux pentes. On l'arrête avec des crochets, pour empêcher qu'il ne puisse être emporté par les vents impétueux dans les temps d'orage.

Les couvertures des dômes s'exécutent de la même manière; lorsqu'ils n'ont pas de côtes saillantes, en étendant le plomb avec la batte, on parvient à lui faire prendre le galbe du dôme. Il faut, de même que pour les combles, éviter les soudures pour les joints montans, et faire des bourrelets qui forment des cordons qui se dirigent au sommet du dôme. Comme les intervalles entre ces cordons diminuent de largeur, il est à propos, pour avoir moins de rangs de tables et économiser les recouvremens, de poser les derniers rangs, en sorte que la longueur des tables fasse leur hauteur.

Lorsque le galbe extérieur d'un dôme est divisé par des côtes saillantes, il faut, autant qu'il est possible, que la largeur des intervalles, ainsi que des côtes, puisse être formée par une seule table, de façon qu'il n'y ait de joints montans que dans les angles rentrans des côtés. Pour former ces joints, on replie les bords des tables qui doivent se réunir en sens contraire et sous le pli on les arrête avec des clous. Quand le plomb est posé immédiatement sur l'extrados d'une voûte en pierre, comme au dôme de l'église de Sainte-Geneviève, on peut les rouler en sens contraire autour d'une tringle de fer scellée dans la voûte.

Il y a des dômes où il n'y a que les côtes saillantes qui soient couvertes en plomb; les intervalles sont en petites ardoises, dont le bas est taillé en écailles de poissons. Dans les pays où l'ardoise est rare, on fait usage des tuiles vernissées, et quelquefois au lieu d'ardoises ou de tuiles vernissées, on a employé de petites lames de plomb taillées de même : au reste, ces ardoises, ces tuiles ou petites lames de plomb, se posent en place comme les ardoises ou les tuiles des combles ordinaires, sur un lattis de voliges avec des clous.

Des couvertures en cuivre.

Au lieu de tables de plomb, on peut employer des feuilles de cuivre laminé qui comportent moins d'épaisseur parce que le cuivre est plus compact, plus solide, et qu'il s'altère moins étant exposé aux injures de l'air; mais il ne faut pas l'employer trop mince ni l'assujettir trop exactement à ses extrémités, pour éviter les inconvéniens arrivés à la couverture du fronton de l'église de Sainte-

Geneviève, dont il a été ci-devant question; il est encore nécessaire qu'il soit étamé en dessous.

La manière ordinaire d'employer les feuilles de cuivre pour les couvertures, est de les joindre par des plis doubles qui se recouvrent de toutes parts, et d'arrêter chaque feuille avec des vis cachées sous les plis; mais comme cette matière se dilate facilement dans les chaleurs, et qu'elle est plus élastique que le plomb, les feuilles, en se boursouflant, arrachent les vis lorsqu'on n'a pas l'attention de les ajuster de manière que l'effet de la dilatation ne puisse pas être contrarié; pour cela, il faut que chaque feuille ne soit arrêtée avec des vis que d'un côté, et que de l'autre les plis permettent au cuivre de s'étendre et de se resserrer en raison de la température de l'air.

On forme ces couvertures par bandes, disposées selon la pente dont les plis soient alternativement en dessus et en dessous pour les joints montans, et avec un recouvrement simple pour les joints horizontaux, formant liaison entre eux, comme l'indiquent les figures 16 et 17.

On a essayé de suppléer le plomb par des lames d'un métal composé de zinc et de plomb, mais on ne cite encore aucun ouvrage exécuté qui puisse constater les avantages de cette composition.

On a encore proposé d'employer de la tôle enduite d'une composition, qui la garantissait de la rouille.

Au ci-devant palais Bourbon, on a fait usage, pour la couverture des combles briquetés, d'une espèce de tuiles plates en fer fondu, qui portent des rebords pour se recouvrir mutuellement dans leurs joints montans, qui forment des espèces de côtes triangulaires. Ces tuiles ont, par-derrière, deux crochets pour se fixer sur un

lattis comme les tuiles ordinaires, elles se posent par rangs horizontaux, et ne se recouvrent que d'un cinquième. Leur épaisseur n'étant que d'environ une ligne $\frac{1}{2}$, elles ne pèsent pas plus que les tuiles de terre cuite, sont plus durables et n'exigent pas d'entretien.

Dans les départemens du Doubs, du Jura, on remarque des clochers et des églises dont les toits sont couverts en fer-blanc.

On trouve, dans plusieurs pays, des pierres qui se refendent en dalles très-minces, dont on fait usage pour les couvertures. En plusieurs endroits, on désigne improprement ces pierres, qui sont souvent blanches et calcaires, sous le nom de laves. Leur grandeur est depuis 1 pied jusqu'à 2, et leur épaisseur depuis 5 et 6 lignes jusqu'à 1 pouce. On pose les *laves* les plus épaisses sur les murs de face et les pignons, et on réserve les plus minces pour le milieu de la charpente du comble.

Ces pierres étant très-irrégulières, les couvreurs les taillent avec une hachette faite comme celle des maçons.

On ne peut poser cette espèce de couverture que sur des combles qui ont peu d'inclinaison, pour que ces pierres ne puissent pas glisser. Lorsque cette couverture est bien faite avec de bonnes pierres qui ne craignent pas la gelée, que toutes les pièces sont bien ajustées et bien calées, elle est très-solide et dure très-long-temps, sans aucun entretien; j'en ai vu qu'on m'a dit être faites depuis plus de cent ans, et qui étaient encore en bon état.

On trouve de ces couvertures dans les départemens qui remplacent une partie des provinces de Bourgogne, de Franche-Comté et même de Savoie.

Pour procurer aux couvertures en pierres des grands édifices une plus belle apparence, on les a formées de dalles régulièrement distribuées, et posées à recouvrement les unes sur les autres, afin d'empêcher l'eau de pénétrer dans les joints horizontaux. Les joints montans sont recouverts par d'autres dalles appelées chevrons, portant de chaque côté des entailles en redents, selon le profil des autres dalles, ainsi qu'on le voit exprimé par les figures 18 et 19. Ces espèces de couvertures ne sont faites que pour être établies sur des voûtes.

On a représenté, par les figures 20 et 21, l'arrangement des dalles qui forment la couverture au-dessus de la colonnade extérieure du dôme de Sainte-Geneviève; toutes les dalles et les chevrons sont à recouvrement, avec rejet d'eau; elles ont été posées à bain de ciment sur une aire étendue sur l'extrados de la voûte. C'est le moyen de les rendre impénétrables à l'eau et extrêmement durables, quand même ces dalles seraient sans recouvrement, comme le prouvent les terrasses au-dessus des colonnades intérieures de l'église de Sainte-Geneviève.

Des terrasses.

Ce genre de couverture a été, pendant quelque temps, fort en vogue à Paris pour les bâtimens particuliers; on les formait avec des dalles de pierre dure, posées sur une aire en plâtre, faite sur le lattis des solives du dernier plancher du bâtiment. Les joints de ces dalles, posées à plat sans recouvrement, étaient mastiqués avec une espèce de ciment gras, de l'invention d'un marbrier en réputation pour ces dallages, nommé Corbel; mais les solives de ces

planchers n'étant pas assez fortement réunies par les lattis, et l'aire de plâtre faite au-dessus étant sujette à se tourmenter par les effets de la sécheresse et de l'humidité, dont de simples dalles de peu d'épaisseur ne pouvaient pas les garantir, il en résultait que les joints en mastic, tels bien faits qu'ils pouvaient être, se désunissaient et causaient des filtrations d'eau qui pourissaient ces planchers en peu de temps; c'est ce qui a été cause qu'on a été obligé d'y renoncer.

Cependant il est certain qu'on pourrait faire à Paris des terrasses sur des planchers, aussi solides et aussi durables que celles qu'on fait en Italie, si l'on voulait apporter à leur construction les précautions convenables. Il faut d'abord que les solives soient réunies assez fortement pour n'être pas sujettes à se tourmenter. Le moyen le plus simple est de hourder plein les intervalles entre les solives, et de les recouvrir d'une forte aire sur laquelle on pose les dalles sur une couche de ciment en les battant à mesure pour qu'elles portent bien partout; les joints en mastic gras se font en même temps; on le fait refluer par-dessus, en frappant les dalles de côté pour les mieux faire joindre: si les dalles ne sont pas bien dégauchies et dressées par-dessus, il vaut mieux laisser des balèvres qu'on recoupe après, plutôt que de les caler pour contenter les gauches. On peut donner depuis une ligne $\frac{1}{2}$ de pente par pied jusqu'à 3 lignes, selon leur exposition au midi ou au nord. Une terrasse que j'ai fait faire de cette manière, au-dessus d'une remise, il y a plus de trente ans, est encore en bon état et n'a exigé aucun entretien.

On peut être persuadé que le seul moyen de parvenir à construire une terrasse solide et durable, est

de former une masse qui ne puisse ni plier, ni se rompre, et que l'eau ne puisse pas pénétrer. Si c'est un plancher, le hourdi plein entre les solives, étant bien fait, lui procure la fermeté d'une voûte, en empêchant les solives de plier. Si la terrasse est exposée au nord ou située dans un endroit humide, le hourdi, entre les solives, peut être fait en petits moellons et mortier, ou en briques, recouvert d'une chape de ciment sur laquelle on posera des dalles de bonne pierre dure de 18 à 20 lignes d'épaisseur, qui ne soient pas sujette à être pénétrée par l'eau. Cependant les terrasses les plus solides et les plus durables sont celles faites sur des voûtes. L'aire ou l'arasement au-dessus de l'extrados doit être fait en petites pierres bien garnies de mortier, et recouvert d'une chape de ciment sur laquelle on pose les dalles.

L'économie qu'on voudrait mettre dans ces ouvrages ne tendrait qu'à les rendre moins solides et moins durables, comme si l'on se contentait de faire un enduit sur des recoupes de pierres mises à sec, ou pas assez garnies de mortier.

Des couvertures en bardeaux.

Les bardeaux sont des petites planches en bois de chêne, faites avec des douves de merrain ou de vieilles futailles, dont on se sert, au lieu d'ardoises, pour couvrir les moulins, les échoppes et autres petits bâtimens.

Le bardeau a 12 à 14 pouces de longueur sur 5 à 6 lignes d'épaisseur. Ce sont les couvreurs qui emploient le bardeau, et qui le taillent; ils ont pour cela une hachette

faite exprès. On pose le bardeau sur des planches jointives, et on les arrête avec deux clous comme les ardoises. Le couvreur a soin de percer les bardeaux avec une vrille, de peur qu'ils ne se fendent en enfonçant les cloux. Cette espèce de couverture est très-légère et résiste mieux aux coups de vent que l'ardoise; c'est pourquoi souvent on la préfère pour couvrir les flèches de clochers. Pour rendre cette couverture plus durable, on l'enduit de goudron ou on la peint en noir ou en gros rouge à l'huile; pour qu'elle se conserve long-temps, il faut renouveler cette peinture tous les trois ou quatre ans.

Des couvertures en chaume et en roseaux.

Dans beaucoup de pays on fait usage de cette couverture pour les bâtimens ruraux; elle se fait avec de la paille de seigle ou de froment. Après que la charpente de cette espèce de comble est posée, c'est-à-dire, les fermes, les pannes et le faîtage, on y attache des perches avec des osiers au lieu de chevrons, et des perchettes en travers sur lesquelles le couvreur applique le chaume arrêté avec des liens de paille; plus ces liens sont serrés, plus la couverture est solide.

Cette couverture se commence par le bas comme toutes les autres; chaque lit ou rang se nomme *javelle*. Comme les brins de chaume sont susceptibles de s'affaisser, on ne fait cette couverture que par intervalles, c'est-à-dire, qu'on la laisse reposer un ou deux jours avant de la terminer. Au bout de ce temps le couvreur la visite pour y introduire, s'il est nécessaire, de nouveaux chaumes dans les endroits qui ne sont pas assez garnis; il se sert

pour cela d'un instrument appelé *palette*; c'est un morceau de bois de forme ovale à manche court. Il finit la couverture en polissant le chaume avec un râteau de bois appelé *peigne*, dont les dents sont fort serrées.

Des couvertures en roseaux.

Ces couvertures se font avec les roseaux qui croissent dans les marais; elles s'exécutent, à peu de chose près, comme celles en chaume; il faut cependant que les perchettes qui tiennent lieu de lattes soient moins éloignées les unes des autres, c'est-à-dire, d'environ 3 pouces; et comme les roseaux sont sujets à couler, on les lie en plusieurs endroits. Cette espèce de couverture exige plus d'adresse que celle en chaume, et coûte davantage; mais, lorsqu'elle est bien faite, elle peut durer au moins quarante ans, sans qu'on soit obligé d'y faire aucune réparation.

FIN DU LIVRE SIXIÈME.

SOMMAIRE

OU

TABLE

Des objets contenus dans le sixième livre du

TRAITÉ DE L'ART DE BATIR.

CHARPENTE.

SECTION PREMIÈRE.

ARTICLE PREMIER. IDÉE sur l'origine de la charpente, pages 1 et 2.

Opinion de Vitruve à ce sujet; citation du premier chapitre du livre 2, texte et nouvelle traduction, pages 2, 3 et 4.

Manière de construire avec des pièces de bois couchées, en usage en Suisse, en Pologne et en Russie, page 5.

Extrait et traduction de Vitruve sur le temps où il faut couper les bois, et les propriétés de certains arbres, pages 6—19.

Observations sur cet extrait et sur la croissance des arbres d'après les plus savans naturalistes, tels que Grew, Malpighi, Halles, Duhamel et Buffon.

ARTICLE II. Des différentes espèces d'arbres désignés par Vitruve sous les noms de *Robur*, *Quercus*, *Esculus*, *Cerrus*, *Suber* et *Fagus*, pages 25 et 26.

De plusieurs autres espèces de bois, tels que les peupliers, saules, tilleuls, aunes, ormes, frênes, charmes, pins, cyprès;

cèdres, larix, sapins, mélèzes, châtaigniers, noyers, érables, platanes et oliviers, pages de 27 à 43.

Des grands arbres d'Asie, pages de 43 à 49.

Des grands arbres d'Afrique, pages de 49 à 53.

De ceux d'Amérique, pages de 53 à 58.

Article III. Des qualités et propriétés des bois de charpente les plus en usage, pages de 59 à 64.

Article IV. De la force des bois de chêne et de sapin tirés par les deux bouts; posés debout, verticalement et inclinés : des bois couchés et posés horizontalement; règles et observations à ce sujet. Tables et leur explication, pages de 65 à 124.

SECTION II.

De la combinaison des bois pour former les ouvrages de charpente, page 124.

Article Premier. Des pans de bois ou cloisons, pages 125 à 131.

Article II. Des planchers, de leur solidité, page 132; de la grosseur à donner aux solives, page 133, 134; des bois de sciage, pages 135, 136; des lambourdes, page 137; des planchers hourdés, pleins, *idem*.

Première espèce de planchers; des étrésillons, des liernes : autre moyen préférable aux liernes; des âtres et bandes de trémie, pages, 138, 139.

Deuxième espèce de plancher avec des poutres; des planchers à sophites; des différentes manières d'assembler les solives avec les poutres, de l'épaisseur des poutres, des poutres refendues, de la force des bois méplats, pages 140 à 143.

Des poutres armées, pages 143 à 145.

Nouvelle manière d'armer les solives, *idem*.

Application aux poutres, page 146.

Poutres sciées en dessus; armature avec des barres de fer, pages 147, 148.

De la moindre épaisseur des pièces chantournées, des traits de Jupiter, pages 148, 149.

Planchers combinés à la manière de Serlio, *id.*; autres planchers combinés d'une nouvelle manière, page 152.

Autre plancher d'assemblage, dont les solives se soutiennent mutuellement les unes et les autres, page 153.

Planchers sans solives, page 154.

Planchers à compartimens, page 155.

Article III. Des combles, de leurs pentes, page 157.

Des combles à la mansarde et des différentes manières de les tracer, page 163.

Table qui indique les degrés de pente à donner aux combles des édifices, en raison de la manière dont ils sont couverts et de la latitude du pays où ils se trouvent.

De la formation des combles, page 165.

Des fermes pour les combles surbaissés; de celles des combles de Sainte-Sabine, de Saint-Paul hors les murs, pages de 167 à 171.

Des fermes pour les combles surhaussés du rallongement des bois par l'effet de la chaleur, pages de 172 à 175.

De la disposition des pièces de bois qui composent les fermes; celles du comble de la salle de spectacle de Lyon; celles du portail de l'église de Sainte-Geneviève et du dessous des nefs; pages de 176 à 182.

Principes du trait de charpente, pages de 183 à 186.

Des combles à deux pentes, dont la largeur est inégale; formation de cette espèce de comble, pages de 186 à 190.

Observations sur les anciens combles, page 190.

Des combles pyramidaux à plusieurs pentes; avec des observations, pages de 191 à 199.

Des noues et de la manière de tracer les pièces dont elles se composent, pages de 199 à 202.

Des noulets droits et biais, pages de 202 à 208.

Des combles à plusieurs épis ou poinçons, pages de 208 à 214.

Comparaisons de différens systèmes pour la composition des fermes de charpente et observations à ce sujet, pages de 214 à 223.

Ferme du comble d'un grand manége construit à Moscou, pages de 223 à 225.

Des combles à base circulaire, pages de 125 à 229.

Comble conique droit, coupé par un mur d'aplomb, par une surface en pente et par un comble à deux pentes, pages de 230 à 240.

Des ouvertures rectangulaires dans les combles coniques, page *idem*. Des ouvertures rondes dans les mêmes combles formés par des cylindres ou des cônes, 242 à 246.

Des combles dont les surfaces extérieures sont courbes d'un sens et droites de l'autre, avec des remarques, pages 246 à 250.

Des combles dont la surface est courbe en plan et en élévation. Dôme des Invalides, du Val-de-Grâce; autre tiré de Mathurin Jousse, autre tiré de Nicolas Fourneau. Autre tiré du recueil de M. Krafft, pages de 250 à 255.

Des combles formés par des courbes en planches, d'après le système de Philibert de Lorme. Dômes de Saint-Marc et de l'église de la *Salute* à Venise. Comparaison de ce dernier avec celui des Invalides, pages de 255 à 264.

Invention de Philibert de Lorme; formation des combles à surface courbe et observations, pages 264 à 268.

Méthode de M. Lacase, 269.

Article IV. Des cintres, des échafauds et des étayemens, pages 271 à 284.

Cintres et échafauds pour la construction du dôme du Panthéon français, page 284 à 290; des étayemens, 291.

Article V. Des voûtes en bois de charpente distinguées en trois espèces: 1°. de celles comprises dans des combles à surface droite, 2°. de celles formant une surface courbe à l'extérieur; 3°. de celles formant plancher en dessus, pages de 293 à 298.

Des voûtes à double courbure, page 299.

Voussures sous plancher, page 302.

Article VI. Des ponts de charpente. De celui *Sublicius* à Rome, page 303. Pont de César sur le Rhin, 304. Pont de Trajan, 307. Différens ponts de Palladio, de 308 à 313.

Pont de Schaffouse, 313. Autre près de Berne, par Ritter; 316.

Combinaison des bois pour les ponts de charpente, avec des observations, de 316 à 321.

Règle facile pour déterminer la force des pièces de bois, de 322 à 327.

Article VII. Des escaliers de charpente, planche CXLIV, pages 328 à 339.

Article VIII. Des machines à élever et à traîner les fardeaux. Du levier, pag. 340. Des cabestans, 342. Du frottement des cordes autour des treuils ou cylindres, 348. Des cordages considérés par rapport à leur fabrication, 352.

Nouvelle grue à volée mobile, imaginée pour la constuction du dôme de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, page 357.

Autre grue dont on s'est servi pour l'école de médecine, pag. 369. Autres machines employées à la construction, pag. 372. Applications des principes de mécanique aux poulies et aux moufles, 373.

Addition. — Explication de la planche CLII, pag. 1.

COUVERTURE.

Des différentes espèces de couvertures antiques et modernes, page 383. Origine et fabrication des tuiles en terre cuite, page 385. Des tuiles romaines et de leur arrangement, page 386.

Couvertures en tuiles flamandes, page 390. Couvertures en tui-

les plates, page 391. Formation des égoûts, page 394. Des faîtages, des solins, des ruellées, des noues et de lucarnes, pages 395 — 397.

Couvertures en ardoises, page 398 et suivantes. Tableau comparatif des ardoises d'Angers avec celles de Fumay, département des Ardennes, page 401. Manière dont se fait la couverture d'ardoise à Paris, page 402.

Des couvertures en plomb, page 404.

Des couvertures en lames de cuivre, page 407.

Des couvertures en tôles préparées, en zinc, en fer fondu, et en fer-blanc, page 408.

Couvertures en pierres refendues appelées laves, page 408.

Couvertures en dalles de pierres dures à recouvremens, et autres pour les terrasses, page 410.

Couvertures en bardeaux, page 412.

Couvertures en chaume et en roseaux, pages 413 et 414.

FIN DU SOMMAIRE DU SIXIÈME LIVRE.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

IMPRIMERIE DE FAIN, RUE DE RACINE, PLACE DE L'ODÉON.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

PAR J. RONDELET,

Architecte; Chevalier de la Légion d'honneur; Membre de l'Institut royal de France, du Comité consultatif des Bâtimens de la Couronne; Inspecteur général et Membre du Conseil des Bâtimens Civils auprès du Ministre de l'Intérieur; Professeur de Stéréotomie à l'École spéciale d'Architecture; de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon; membre honoraire de l'Académie de Saint-Luc à Rome, et de plusieurs autres Sociétés savantes.

TOME QUATRIÈME.

DEUXIÈME PARTIE.

MENUISERIE ET SERRURERIE, AVEC 31 PLANCHES.

A PARIS

CHEZ L'AUTEUR, PLACE DU PANTHÉON.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE
L'ART DE BÂTIR.

LIVRE SEPTIÈME.

SECTION PREMIÈRE. — *De la menuiserie.*

Cet art s'occupe de menus ouvrages en bois qui lui ont fait donner ce nom. On le distingue en quatre parties principales, savoir : menuiserie de bâtimens, menuiserie de meubles, de carrosses et d'ébénisterie. Il ne sera question, dans cet ouvrage, que de la menuiserie de bâtimens, qui comprend : les cloisons en planches, les portes mobiles, les croisées, les lambris, les revêtemens, les planchers, les parquets et les petits escaliers de dégagement.

Pour faire de belle et bonne menuiserie, il faut des bois plus doux que pour la charpente ; dont la texture soit plus fine, plus pleine et plus égale. Il faut choisir du bois bien sec, sans nœuds vicieux ni aubier, ni autres défauts. Ces bois doivent être bien corroyés, dressés à vives arêtes et bien joints, avec les assemblages qui conviennent ; savoir, à tenons et à mortaises, à queue, en onglet, à rainures et languettes, à clefs et autres.

Les bois qu'on emploie le plus généralement pour l'u-

sage ordinaire, sont : le chêne, le sapin, le tilleul, le hêtre, le peuplier et quelquefois le noyer ; et enfin le bois d'acajou pour les ouvrages d'une grande magnificence. Indépendamment de sa beauté, ce dernier réunit presque tous les avantages qui se trouvent dans ceux de la meilleure qualité.

ARTICLE PREMIER.

Des cloisons en planches.

Les plus simples, sont celles qui sont formées avec des planches brutes, clouées sur des bâtis de charpente, telles que les clôtures en planches et les cloisons brutes pour former des séparations dans les caves. Pour les cloisons qui demandent plus de soins, on dresse les planches.

Celles qu'on établit dans les appartemens, sont blanchies des deux côtés et assemblées à rainures et languettes, afin que les planches se maintiennent mutuellement les unes et les autres ; ces rainures et languettes pouvant être considérées comme des mortaises et des tenons continus. On arrête les cloisons par le haut et par le bas dans des coulisses, et quelquefois on les fortifie par des traverses qui vont dans toute la longueur, appliquées dessus ou assemblées dans leur épaisseur. On emploie ordinairement le bois de sapin à leur construction, et on recouvre leurs surfaces de papiers peints.

On fait encore usage, pour la distribution des appartemens, de cloisons en planches brutes à claire voie, pour être revêtues de plâtre. On les assemble dans des coulisses et des entretoises qui peuvent être en chêne ou en sapin.

ARTICLE II.

Des planchers, parquets et portes pleines.

On forme quelquefois leur superficie avec des planches de sapin ou de chêne à joints plats ou à rainures et languettes ; on les arrête en les clouant sur les solives ou sur des lambourdes ; mais comme on s'est aperçu que les planches qui ont trop de largeur sont sujettes à se *cofiner*, c'est-à-dire, à se gauchir, et se creuser ou bomber dans le milieu, on a imaginé de n'y employer que des planches de 3 à 4 pouces de largeur, sur 15 à 18 lignes d'épaisseur; on les pose de manière à former des compartimens carrés ou en épi ou point de Hongrie, comme l'indiquent les figures 1 et 2, planche CLIII, qui font voir leur assemblage; ce genre de plancher, un peu plus cher que le précédent, est beaucoup plus solide, et doit être préféré pour les endroits où il passe beaucoup de monde.

Dans les beaux appartemens, on forme les planchers avec des parquets d'assemblage, composés de feuilles d'environ 3 pieds sur tous sens, sur 15, 18 ou 21 lignes d'épaisseur. Ces feuilles forment des compartimens de traverses assemblées à tenons et mortaises avec des panneaux arrasés, ajustés dans les traverses, à rainures et languettes. Ces feuilles se posent sur des lambourdes placées en travers sur les solives, bien arrêtées et dressées par-dessus; on les dispose carrément ou en lozange, comme l'indiquent les autres figures de la même planche.

Il faut pour que les parquets soient bons et se maintiennent beaux, y employer du bois bien sec, qui ne soit pas sujet à se tourmenter; on ne doit le mettre en œuvre que 3 ou 4 ans après qu'il a été débité. Comme les compartimens et les grandeurs des feuilles varient peu, les menuisiers préparent les parquets d'avance dans les intervalles de temps où ils sont le moins occupés; ils se servent pour cela de tous les bouts de bois qui leur restent, d'autres les font faire par des ouvriers qui ne s'occupent que de cette espèce d'ouvrage. Les fig. 14 et 15 font voir les combinaisons les plus usitées pour les parquets et leurs assemblages.

On fait encore des parquets à compartimens de bois dont on varie les couleurs, c'est-à-dire, en chêne, en noyer et en bois de plane, comme ceux du château de Lacken, près de Bruxelles. Ces parquets composés de pièces assemblées à rainures et languettes avec clefs, se montent sur place, sur des planchers de sapin en bois de Hollande, joints à rainures et languettes et bien arrêtés sur les lambourdes; les figures 1, 2, 3 et 4, planche CLIV, indiquent quelques-uns de ces compartimens; les parquets représentés par les figures 5, 6 et 7 sont en bois précieux, exécutés dans un joli casin près de Lacken, bâti pour M. Walkier, banquier.

Des portes pleines.

On appelle ainsi les portes unies sans compartimens de cadres et de panneaux; elles se composent de planches assemblées à rainures, languettes et clés, pour les empêcher de se désunir, et sont terminées à chaque bout par des traverses appelées emboîtures. Les portes en sapin

sont ordinairement emboîtées en chêne ; les fig. 1, 2 et 3, planche CLV, font voir les détails et les assemblages employés pour ces espèces de portes, ainsi que pour dessus de table et autres ouvrages de même genre.

ARTICLE III.

Des croisées, persiennes et jalousie

Ce sont des ouvrages de menuiserie qu'on place dans les ouvertures de fenêtres pour laisser passer la lumière, et garantir l'intérieur des appartemens des intempéries de l'air. Planche CLV.

Les croisées de menuiserie se composent ordinairement d'un bâtis dormant, dans lequel s'ajustent un ou plusieurs châssis ouvrans garnis de verres, qu'on désigne quelquefois par le nom de venteaux ; ainsi on dit une croisée ouvrante à un ou deux venteaux sur la largeur, et quelquefois autant sur la hauteur, séparés par des traverses qui divisent le bâtis dormant. Les châssis à un seul venteau n'ont lieu que pour les petites croisées dont la largeur ne passe pas 24 à 30 pouces ; pour les largeurs au-dessus, jusqu'à 6 pieds, on les fait à deux venteaux.

Le bâtis dormant est assemblé à tenons et mortaises, et scellé dans les feuillures de la baie. La traverse du bas est en forme de quart de rond, portant jet d'eau en dessous, pour empêcher l'eau de pluie de refluer dans l'intérieur. Les châssis ouvrans sont assemblés de même. Un des montans ou battans porte une forte languette arrondie qui se loge, quand le châssis est fermé, dans une rainure pratiquée dans l'epaisseur du

bâti dormant. Dans les croisées à un venteau, l'autre battant se raccorde par une double feuillure avec l'autre côté du bâti dormant. Dans les châssis à deux venteaux, les battans du milieu, désignés sous le nom de battans menaus, peuvent se réunir par une double feuillure, fig. 5, par un recouvrement en chanfrein fig. 6, ou en doucine, fig. 7, ou à noix et à gueule de loup, c'est-à-dire, avec une forte cannelure creusée dans l'épaisseur d'un des battans, pour recevoir l'autre qui est arrondi, comme l'indique en plan la figure 8. Ce dernier moyen, qui est actuellement le plus en usage, est celui qui convient le mieux pour maintenir solidement les deux venteaux d'une croisée, les faire joindre et les empêcher de gauchir.

On divisait autrefois la largeur du vide de chaque châssis par un montant qui allait dans toute la hauteur, recroisé par des traverses pour former de plus petites divisions; mais depuis qu'on fait usage de grands carreaux, on a supprimé le montant du milieu, qu'on nommait petit bois, en sorte que chaque châssis n'est plus divisé que par des traverses auxquelles on donne un peu plus de largeur qu'aux petits bois. La face intérieure est ornée d'une moulure autour de chaque carreau; à la face extérieure, on pratique des feuillures pour recevoir les grands carreaux ou les glaces sans tain pour des appartemens magnifiques; on les arrête avec des pointes et du mastic formant un chanfrein tout autour. Les fig. 9, 10, 11, 12, etc. indiquent les détails de ces deux espèces de croisées.

Pour les croisées de 4 pieds à 4 pieds $\frac{1}{2}$ de large sur 8 à 9 pieds de haut, la grosseur des montans des dormans et de la traverse du haut, doit être de 3 pouces à 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 18 lignes d'épaisseur; lorsqu'ils doivent porter des

côtes pour recevoir des volets, on leur donne de 4 pouces à 4 pouces $\frac{1}{2}$ de large sur 2 pouces d'épaisseur. La grosseur de la traverse du bas ou appui doit être de 3 pouces sur 3 pouces $\frac{1}{2}$, profilé en dessous en quart de rond, pour embrasser le rejet d'eau de l'appui en pierre.

Pour les châssis à verre, les montans qui s'attachent aux dormans portent une forte languette arrondie, entrant dans les dormans pour rompre le courant d'air qui pourrait pénétrer par le joint; leur grosseur doit être d'environ 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 15 à 18 lignes d'épaisseur; celles des traverses, de 3 pouces sur même épaisseur.

Les battans du milieu portant côtes et recouvrement, pour les fermetures à feuillure, douciue ou chanfrein, doivent avoir 4 pouces $\frac{1}{2}$ de large sur 2 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur.

Lorsque la fermeture est à noix et gueule de loup, le montant à gueule de loup, dans lequel l'autre entre doit avoir 4 pouces de largeur sur 2 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, lorsqu'il porte côte des deux côtés; l'autre montant n'a besoin d'avoir que 2 pouces $\frac{1}{2}$ de large sur un pouce $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, parce qu'il ne doit figurer que la partie d'après la côte.

Pour proportionner ces mesures à toutes les largeurs de baies, on prendra pour pied le quart de la largeur de la baie entre les tableaux, qu'on divisera en 12 pouces, et le pouce en 12 lignes.

Des portes croisées.

Ce sont des baies ouvertes dans les murs de face, et jusque sur le sol pour donner entrée daus des jardins, sur des terrasses et des balcons, et procurer en même temps

du jour à l'appartement; leurs venteaux ne sont garnis de verres que jusqu'à hauteur d'appui, de manière à figurer avec les croisées ordinaires lorsqu'ils sont fermés.

Lorsque ces croisées sont fort hautes, dans les étages assez élevés pour former entresol sur les petites pièces, on ne les fait ouvrir qu'à une certaine hauteur, au-dessous d'une traverse ou imposte, qui s'assemble dans les dormans.

Si la largeur de chaque venteau est divisée en deux carreaux, la partie au-dessus de l'imposte en doit contenir deux sur la hauteur. Dans les croisées à glaces, cette partie ne doit comprendre qu'un carreau de hauteur.

Dans les croisées en arcade, le dessus de l'imposte doit être à la hauteur du centre de l'arcade, que nous supposons formé par une demi-circonférence de cercle, tout autre cintre bombé ou en anse de panier n'étant plus d'usage.

La division des carreaux de cette partie se fait, pour les croisées à petits bois, sur une circonférence concentrique qui répond aux montans, partageant la largeur des venteaux du bas en deux carreaux, et par des traverses dont le milieu doit tendre au centre.

Dans les croisées à glaces, chaque carreau comprend un quart de cercle, séparé par un montant qui répond à ceux du milieu de la croisée du bas. Ces parties de châssis, représentées par les figures 25 et 26, sont ordinairement dormantes, c'est-à-dire, qu'elles ne s'ouvrent pas. Leur forme fait qu'on les désigne sous le nom d'éventail.

On parlera des volets qu'on place derrière les croisées à l'article suivant, où il sera question des ouvrages de menuiserie à compartimens avec panneaux, ornés de moulures.

Des persiennes ou jalousies.

Ce sont des espèces de croisées sans verre, qu'on place en dehors des fenêtres exposées au midi; elles sont garnies de lattes, ou lames minces de 4 à 5 lignes d'épaisseur, inclinées de 45 degrés, pour empêcher les rayons du soleil de pénétrer à l'intérieur, en laissant un passage libre à l'air. Ces espèces de croisées s'ouvrent, à l'extérieur, à un ou deux venteaux, ajustés dans des feuillures en pierre ou en plâtre, et quelquefois dans un dormant, formé ainsi que les châssis, par des bois de 2 à 4 pouces de large sur 15 à 18 lignes d'épaisseur. Les lattes sont assemblées dans les montans des châssis, dans des entailles inclinées de 45 degrés, ou par des tenons et des goujons; on les espace de manière à se recouvrir d'une ligne environ; on les fait affleurer les montans, ou saillir de 2 ou 3 lignes, en les terminant par un quart de rond ou une doucine. Quelquefois on dispose pour la vue un certain nombre de lattes mobiles qui peuvent, à l'aide d'un mécanisme connu, former, en se réunissant, une surface verticale continue. Ces lattes se recouvrent les unes et les autres par des feuillures ou des doucines, ainsi qu'on le voit représenté par les figures 27, 28, 29, 30, etc.

Les figures 39 et 40 représentent avec tous leurs détails la face en perspective et le profil d'une jalousie suspendue; la vue du dessin expliquant suffisamment dans toutes ses parties ce mécanisme, si connu d'ailleurs, nous nous croyons dispensés de tout autre éclaircissement à ce sujet.

ARTICLE IV.

Des compartimens de menuiserie, avec panneaux ornés de moulures.

En expliquant ci-devant la formation des bois (pag. 23. Liv. VI.) nous avons dit qu'ils étaient composés de fibres longitudinales réunies par des parties moins denses, c'est-à-dire, dont la texture est plus lâche. Cette différence est beaucoup plus considérable dans les bois résineux tels que les pins, les sapins, les mélèses et ceux de ce genre, que dans les autres bois; il en est où cette différence est à peine sensible, tels que le charme, le hêtre, le peuplier, le poirier, le cormier, etc.

Les résultats d'un grand nombre d'expériences que j'ai faites sur 48 espèces de bois, m'ont fait connaître que les bois qui augmentent ou qui diminuent le plus dans le sens de leur grosseur, à différens degrés de température, sont ceux qui varient le moins dans le sens de leur longueur. Une tringle de sapin bien sec, de 38 pieds de longueur, exposée à l'humidité et à la sécheresse, n'a varié dans ce sens que d'une demi-ligne, et une pareille en bois de chêne de $\frac{10}{11}$ de ligne.

Les mêmes tringles exposées au soleil, après avoir été mouillées, ont varié, savoir : celles en chêne de une ligne $\frac{1}{4}$, et celles en sapin de $\frac{3}{4}$ de ligne.

Ce qui donne, dans le premier cas, $\frac{1}{10944}$, pour la variation que le bois de sapin, employé à l'intérieur, peut éprouver selon sa longueur, et $\frac{1}{6566}$ pour celle du bois de chêne.

Et dans le second cas $\frac{1}{4377}$ pour le bois de chêne exposé à l'extérieur, et $\frac{1}{7296}$ pour le bois de sapin.

Ce qui donne, pour la variation moyenne du sapin dans le sens de sa longueur $\frac{1}{9120}$, et pour celle du chêne $\frac{1}{5472}$.

Quant à la variation dont le bois de sapin est susceptible dans le sens de sa largeur, elle va de $\frac{1}{75}$ à $\frac{1}{360}$ et celle qu'éprouve le bois de chêne, de $\frac{1}{84}$ à $\frac{1}{412}$, d'où l'on peut déduire la variation moyenne du sapin à $\frac{1}{217}$, et celle du chêne à $\frac{1}{248}$. Ainsi il résulte de ces expériences, que le bois de sapin éprouve, dans le sens de sa largeur, une variation 42 fois plus grande que celle qu'il éprouve dans sa longueur, et que dans le bois de chêne cette variation n'est que 22 fois plus grande.

Ainsi, un montant de 6 pieds de long en bois de sapin ne peut éprouver, dans sa longueur, qu'une variation d'un dixième de ligne, qui n'est pas sensible, tandis qu'un panneau de 6 pieds de large, en même bois, peut varier de 4 lignes.

En bois de chêne, un montant de 6 pieds peut éprouver, dans sa longueur, une variation de $\frac{1}{6}$ de lignes qui devient un peu plus sensible; dans un panneau de 6 pieds de large, la variation peut être de 3 lignes $\frac{4}{10}$.

Ces calculs étant fondés sur des bois moyennement secs, il est évident que ceux qui le seraient moins, éprouveraient une plus grande diminution, et ceux qui le sont plus, une moindre, à moins qu'ils ne soient exposés à une plus grande différence de température.

C'est pour obvier à ces variations inévitables, dans les bois les plus pleins et les plus secs, qu'on a imaginé de combiner les ouvrages de menuiserie qui doivent former

décoration, tels que les portes et les lambris, en compartimens de montans et de traverses, disposés selon la direction des fibres du bois, qui ne varient presque pas dans leur longueur. Les panneaux, dont on rempli ces compartimens, sont composés de planches minces fortement réunies selon la largeur, qui peut varier dans sa totalité, sans qu'elles se désunissent. Ces panneaux son recouverts tout autour par les montans et les traverses dans lesquels ils sont assemblés à rainure et languette, en sorte qu'ils peuvent varier sans qu'il paraisse de désunion autour, à cause des recouvremens et des clégissemens qu'on fait autour des panneaux et qu'on a le soin d'orner des moulures formant cadres, d'où il résulte une décoration plus ou moins riche et agréable, selon le génie et le goût de l'architecte qui en a donné le dessin.

ARTICLE V.

Des portes à panneaux avec moulures.

Les principales sont : les portes cochères, les portes bâtardes, les grandes portes à parquet avec panneaux saillans; les portes à placard à un et à deux venteaux, à double paremens; les portes d'armoires et autres de même genre.

Des portes cochères.

Ces portes doivent avoir une largeur et une hauteur suffisantes pour que les voitures puissent y passer com-

modément. Les moindres dimensions sont de huit pieds de largeur entre les tableaux, sur 12 pieds de haut. Quoique la décoration exige quelquefois de porter la hauteur au double de la largeur, on peut cependant ne pas faire ouvrir la porte de toute la hauteur, pour cela on pose à douze pieds, une imposte pour servir de battement aux deux grands venteaux. On décore la partie au-dessus de l'imposte, qui peut être dormante, de panneaux ornés de cadres correspondans à ceux des venteaux.

Lorsque l'ouverture de la porte cochère est en arcade, le mieux est de faire la partie cintrée dormante, en plaçant au-dessous une imposte.

Cette partie peut être décorée de panneaux en compartimens, d'un jour circulaire ou d'une croisée, surtout quand il se trouve un entresol au-dessus du passage de la porte cochère.

On pratique, dans un des venteaux du bas, une porte ou guichet pour les gens de pied, lequel doit être compris dans les compartimens, de manière à ne pas être aperçu lorsque la porte est fermée.

La décoration la plus usitée pour les venteaux des portes cochères, est celle en parties unies par le bas, encaissées dans les bâtis des grands venteaux, surmontees d'espèces de bases et d'un grand panneau, avec imposte ou panneaux de frises et cadres et attributs en sculpture, ainsi que l'indiquent les figures 1, 2, 3, 4, et 5, planche CLVI. Quant à la grosseur des bois qu'on emploie pour les portes cochères, les battans et grandes traverses du haut et du bas ont ordinairement 4 pouces d'épaisseur.

La largeur des battans de rive, qui sont le long des jambages en pierre, est de 10 à 11 pouces, et celle des battans du milieu, appelés battans menaus, est de 8 à 9 pouces; l'épaisseur des bâtis est de 3 pouces; celle des cadres de 4 pouces. Quant aux panneaux, on leur donne 1 pouce ½ et quelquefois 2 pouces; ces dimensions, ainsi que les exemples et les détails que nous venons de donner, doivent plutôt être considérés comme des moyens de fixer l'attention relativement aux procédés de l'art, que par rapport au goût, qui, dans les ouvrages de menuiserie, est extrêmement variable, ainsi qu'on peut le voir par la diversité des dessins gravés, proposés pour modèles depuis Daviler jusqu'à nos jours, par différens auteurs.

Des portes bâtardes.

Ces portes, qu'on appelle aussi portes bourgeoises, sont moins grandes que les portes cochères, n'ont souvent qu'un seul venteau, et n'en diffèrent que par la grandeur; celles à deux venteaux, pouvant être considérées comme des portes cochères sur une plus petite échelle, et celles à un venteau, comme une partie de celles à deux venteaux. La figure 6 indique un exemple de ces portes.

Des portes cochères ou charretières, avec compartimens de panneaux saillans, planche CLVII.

On voit encore des portes cochères combinées de cette manière à plusieurs anciens hôtels de Paris, bâtis

sous les règnes de Henri IV, Louis XIII, et le commencement de celui de Louis XIV.

Cette espèce de combinaison à panneaux saillans portant rainures, qui recouvrent les joints des bâtis, a le même avantage que les panneaux renfoncés, recouverts par les traverses, pour empêcher de voir la désunion des joints, produite par le desséchement des bois. Lorsque les panneaux sont petits, ç'a devient une espèce de parquet à panneaux saillans, qui produit un ouvrage très-solide, pour les grandes portes des bâtimens qui doivent présenter plus de solidité que de magnificence.

Les combinaisons en petits panneaux sont préférables. Lorsqu'on fait des panneaux longs, leur largeur ne doit pas avoir plus du double de celle des pièces qui forment le bâtis, c'est-à-dire 4 pouces pour les bâtis et 8 pouces pour les panneaux. Lorsqu'ils sont fort longs, il faut les réunir fortement avec les montans des bâtis, par des clefs ajustées dans l'épaisseur des bois à de certaines distances, ainsi qu'on le voit indiqué par les lettres *a*, *b*, *c*, figure 3, ou par des traverses qui passent derrière les panneaux.

Lorsque les panneaux sont carrés, on les fortifie quelquefois par-derrière avec des petites croix de Saint-André, indiquées par les figures 4, 5, 6.

Les panneaux sont quelquefois garnis de forts clous faits exprès, placés aux extrémités et au milieu des panneaux, qui les attachent aux traverses en croix de Saint-André placées derrière, fig. 4.

Pour les basses-cours et dépendances, on forme les grandes portes charretières avec de forts bâtis à grands

compartimens, fortifiés à l'intérieur par des croix de Saint-André, et recouverts à l'extérieur par des planches bien arrêtées sur ces bâtis, avec des tringles pour recouvrir les joints, fig. 7.

Des grandes portes à placard, planche CLVIII.

Ces portes sont ordinairement carrées, ouvrantes à un ou deux venteaux dans l'épaisseur du mur, avec chambranle autour, et revêtissement dans l'épaisseur des murs. La largeur de ces portes est de 4 à 5 pieds sur le double de hauteur; on donne aux battans de 15 à 18 lignes d'épaisseur, et aux panneaux 10 à 12 lignes. La largeur des battans et des traverses, ainsi que celle des moulures, dépend du dessin. Les plus simples sont composées d'un grand panneau par le haut, d'un plus petit par le bas, séparés par un panneau de frise. On distingue ces portes sous les noms de grands cadres ou de petits cadres. Dans les portes à grands cadres, la saillie des moulures excède l'épaisseur des bâtis, et dans celles à petits cadres, les moulures sont prises dans l'épaisseur des bâtis. Les panneaux de frise sont toujours à petits cadres, composés de moulures simples.

Des Moulures.

On employait autrefois, pour la menuiserie, des moulures particulières désignées sous les noms de boudin, doucine, bec de corbin dégagé par des gorges ou scoties; au lieu de panneaux carrés, on leur donnait des contours bizarres qui ressemblaient à ceux des moulures en boudin

et doucine. Les moulures se terminaient en enroulement avec des rocailles, des coquilles et autres sculptures d'un genre singulier, qu'on a heureusement abandonné, figures depuis 1 jusqu'à 12.

Les traverses des bâtis avaient besoin d'être chantournées et assemblées d'une manière particulière dont l'art faisait parade. Les figures 13, 14, 15 représentent une porte à placard dans le goût actuel, orné de chambranles et d'embrasemens, avec les détails des cadres et assemblages, pris sur les lignes horizontales et verticales AB et CD.

Les bâtis des portes et des revêtemens, pour les embrasemens, sont assemblés à *bouement*, c'est-à-dire à tenon et mortaise avec onglet, pour le raccordement des moulures; et les panneaux à rainures et languettes.

Les chambranles sont assemblés en onglet.

Cette porte est à double parement et double chambranle.

On y ajoute quelquefois des corniches avec des arrières-corps, ornés de consoles dans le genre des croisées du Louvre. La frise et les moulures peuvent être être taillées d'ornement.

Les portes à placard, à un seul venteau, ne diffèrent qu'en cela des précédentes. Quelquefois leur compartiment n'est formé que de deux panneaux sans frise, comme celle représentée par les fig. 16, 17 et 18 qui indiquent ses profils et ses assemblages. Ces portes peuvent être à doubles paremens avec doubles chambranles, corniches, arrières-corps et consoles décorées d'ornemens de sculpture.

Ce que nous venons de dire convient encore aux portes d'armoires qui répètent les portes à placards; on leur

donne moins d'épaisseur et elles sont sans moulures à leur double parement.

Les volets qui se placent derrière les croisées dans les grands appartemens et qui doivent faire ornement le jour lorsqu'ils sont pliés dans les embrasemens, et la nuit étant développés sur les croisées, sont encore de même genre que les portes à placards avec des compartimens ornés de moulures, et assemblés de la même manière. Les figures 19, 20, 21, et 22 en présentent la forme et les détails.

ARTICLE VI.

Des lambris de menuiserie.

Ce sont des revêtemens en bois dont on décore l'intérieur des appartemens pour les rendre plus sains, plus agréables et plus commodes; ils se composent comme les portes dont nous venons de parler, de compartimens ornés de moulures, de sculpture de peintures, et de dorure; on les combine avec des pilastres, des tableaux, des glaces, des tapisseries pour les appartemens d'une grande magnificence.

On distingue deux sortes de lambris, les uns qui n'ont que 2 pieds $\frac{1}{2}$ à 3 pieds de hauteur, qu'on nomme lambris d'appui, et les autres qui vont depuis le dessus du parquet jusqu'au-dessous de la corniche du plafond, qu'on appelle lambris de hauteur. Les lambris d'appui sont fort simples; c'est une combinaison de panneaux et de pilastres distribués symétriquement; le bas est terminé par une

plinthe et le haut est couronné par une cimaise. Dans la distribution, il faut faire en sorte qu'il se trouve des pilastres dans les angles et aux extrémités, et des panneaux dans les milieux. La décoration de ces lambris est ordinairement fort simple, parce qu'ils sont presque toujours cachés par les meubles.

Le dessus des lambris d'appui se décore par des tapisseries encadrées de moulures unies, sculptées et quelquefois dorées.

Les lambris de hauteur forment souvent lambris d'appui par le bas; le haut peut être décoré de pilastres, de panneaux, de glaces ornées de sculptures, de peintures, de dorures, d'arabesques, et quelquefois de tableaux faits exprès.

L'exécution de la menuiserie qui forme ces lambris, ne présente pas plus de difficulté que les portes à placard, lorsqu'ils sont appliqués sur des murs droits.

Les figures 1, 2, 3, pl. CLIX, présentent des dessins de lambris d'appui et de hauteur fort simples, avec la manière d'assembler les parquets de glaces et les pilastres.

Les plus beaux ouvrages de menuiserie, relativement à l'art, sont ceux qui ont été faits pour les églises et les communautés religieuses, tels que les chœurs, les stalles, les chapelles, les sacristies, les confessionnaux, les bancs d'œuvres, les chaires à prêcher, les salles de communautés, de chapitre, les bibliothéques et autres ouvrages travaillés à loisir, avec des bois choisis et fort secs. Plusieurs sont d'une pureté d'exécution qui les font regarder comme chefs-d'œuvre. On peut en juger par ce qui nous reste en ce genre.

ARTICLE VII.

Des stalles.

On appelle formes ou stalles, des siéges fixes en menuiserie, disposés dans les chœurs des églises pour le clergé qui fait l'office divin, et pour ceux qui y assistent dans certaines circonstances : on les élève sur des bâtis de charpente formant plancher, afin d'éviter l'humidité du pavé.

Lorsque les stalles sont doubles, le second rang est plus élevé que le premier d'environ 1 pied.

Le premier rang pose sur un marche-pied de 5 à 6 pouces.

Le bâtis de charpente qui forme ce plancher doit être fait par les menuisiers qui travaillent avec plus de précision que les charpentiers. Toutes les pièces doivent être corroyées, dressées et bien assemblées. Les principales doivent avoir 4 pouces en carré de grosseur, et les solives ou lambourdes 3 pouces sur 4, posées de champ; le plancher doit être en bois de frise ou en parquet en compartiment, qui s'accorde avec la distribution des stalles. Les figures 4 et 5, pl. CLIX, font voir la disposition des stalles et du plancher sur lequel elles posent.

Les stalles sont séparées par des espèces de consoles doubles, appelées *parcloses*, dont le dessus forme appui. Les menuisiers désignent ces espèces d'accoudoirs par le nom de museau, à cause de leur forme arrondie sur le devant; on donne 3 pieds $\frac{1}{4}$ de hauteur à ces accoudoirs, afin

de pouvoir s'y appuyer commodément quand on est debout.

La largeur de chaque stalle, mesurée du milieu d'un museau à l'autre, est depuis 22 pouces jusqu'à 25. Celles de l'église de Notre-Dame de Paris, qui sont très-commodes, ont 2 pieds de largeur du milieu d'un museau à l'autre.

La hauteur du dessus du siége qui est mobile, doit être, lorsqu'il est baissé pour s'asseoir, de 16 pouces $\frac{1}{2}$; il porte en dessous une saillie en forme de cul-de-lampe. Lorsque le siége est levé, la hauteur du dessus de ce cul-de-lampe sur lequel on se soutient quand on est debout, doit être de 26 pouces.

On lui donne le nom de *miséricorde*, probablement parce que c'est un moyen qu'on a trouvé pour soulager le clergé, qui récite la plus grande partie de l'office debout.

Des appuis et des museaux.

Les appuis qui terminent le fond des stalles par-dessus, sont des pièces d'environ 2 pouces d'épaisseur, formant couronnement des deux côtés lorsque les stalles sont isolées. Les arêtes de dessus, qui sont à la portée de la main, sont arrondies; en dessous règne ordinairement un talon sans filet, élégi dans la masse. Lorsque les stalles du haut ne sont pas isolées, et qu'il se trouve un lambris au-dessus, la largeur de cette pièce est d'environ 4 pouces. Si l'appui est isolé, on lui donne 5 pouces de largeur.

On donne à l'appui des stalles basses, qui sont toujours

isolées, 6 à 7 pouces de largeur, afin qu'on puisse y déposer un livre.

Les museaux qui s'assemblent dans ces appuis, ont 6 pouces dans leur plus grande largeur, et 3 pouces $\frac{1}{2}$ dans la plus petite, sur même épaisseur que les appuis. Le profil usité est une forte astragale par le haut et par le bas, un talon avec filet saillant qui se raccorde avec celui des appuis; mais comme l'astragale et le filet saillant pourraient incommoder, on les fait perdre dans la partie circulaire qui se raccorde avec le fond, en les adoucissant au point de se confondre avec la face plate de l'appui. Ce raccordement a besoin d'être fait avec beaucoup d'art, pour ne pas produire un mauvais effet. Au reste, on peut ajuster un profil qui n'ait pas besoin de cet expédient.

Les appuis s'assemblent à rainure et languettes avec les dossiers des stalles et le double lambris qni est derrière, figures 15, 16, 17, 18, 19 et 20, pl. CLX. Les parties formant museau s'assemblent, avec les appuis et les parcloses ou doubles consoles qui forment les séparations des stalles, en coupes avec tenons et mortaises, rainures et languettes de 8 à 10 lignes de largeur, comme on le voit détaillé par les fig. 8 et 9.

La figure 7 indique un moyen géométrique de tracer le contour en plan des museaux, et leur raccordement avec l'appui du dossier.

Ayant divisé la longueur A D en trois parties égales, du point B de la première division, en partant de l'alignement du profil du fond, on mènera une parallèle indéfinie, sur laquelle on portera de B en E le huitième de A D, et A B de E en F; par ce dernier point, on tirera une parallèle

à A B, pour indiquer le raccordement du dossier avec la partie la plus étroite du museau, au moyen d'un quart de cercle E G, dont le centre est en F. Ayant porté ensuite le tiers de B D, de D en H, on décrira avec H D pour rayon, un cercle; ayant ensuite porté le rayon H D de E en I, on a tiré H I, et sur le milieu on a élevé une perpendiculaire qui rencontre B F prolongée en K; et après avoir tiré H K, on a décrit du point K l'arc de raccordement E L avec la courbure du fond et l'arrondissement du museau par-devant.

Le raccordement des moulures avec la face de l'appui, se fera en portant les saillies de F en 1, 2, 3, pour décrire de chacun de ces points des quarts de cercle avec le rayon F G.

Des parcloses.

Ce sont des espèces de consoles qui forment la division des stalles. Elles se font chantournées sur le devant, en deux pièces sur la largeur, pour former la profondeur des stalles; on y emploie des membrures, ou des bois de 2 po. d'épaisseur assemblés à rainures languettes et clefs. Par le haut, on leur fait porter deux tenons réunis par une languette de 8 à 10 lignes d'épaisseur, figure 8 et 21, afin de s'assembler plus solidement avec le dessus formant museau.

Par le bas, la pièce joignant le dossier porte un tenon passant, qui doit traverser le sommier qui forme le fond des siéges. Dans la largeur du tenon passant, on pratique une mortaise de 6 à 8 lignes de large, dans laquelle on fait entrer une clef qui sert à faire joindre la parclose sur le sommier, et à la fixer solidement.

Dans l'autre pièce de parclose formant console, on entaille deux tasseaux en forme de cimaises, assemblés à queue d'aronde dans l'épaisseur de la parclose figure 21; sur le devant, on rapporte à bois de fil, un bout de cimaise assemblé en onglet pour cacher les queues d'arondes. On ravale dans l'épaisseur du bois les moulures et ornemens qui doivent décorer les parcloses.

Les sommiers sont des pièces marquées B, fig. 3, de 6 po. de large sur 3 po. d'épaisseur, sur lesquelles s'assemble le fond des parcloses, au moyen des mortaises à jour pour recevoir leurs tenons passans, dont il a été ci-devant question; elles sont rainées en dessus pour recevoir le dossier, et en dessous pour le soubassement des siéges. Cette pièce porte sur le devant une feuillure de 13 à 14 lignes sur 8 de largeur, pour les siéges mobiles qui se ferrent dessus. Les siéges mobiles D se font avec des planches unies de 10 pouces de largeur sur 13 à 14 lignes d'épaisseur. Leur longueur est déterminée par la largeur des stalles, en laissant environ une ligne de jeu. On rapporte en dessous des espèces de culs-de-lampe E qui forment les faux siéges appelés miséricordes. Leur saillie est de 5 à 5 pouces $\frac{1}{2}$ sur 18 pouces de longueur, et 9 à 10 pouces de largeur ou hauteur, prise dans le milieu. Le dessous est orné de moulure, avec des ornemens de sculpture sur le cul-de-lampe, qui est apparent lorsque le siége est levé. Le dessus de ces faux siéges doit plutôt pencher en avant lorsqu'ils sont levés, que d'être de niveau, et ils ne doivent jamais pencher en arrière. Le bois qui forme ces culs-de-lampe est ordinairement collé à plat, joint avec des clefs en queues d'aronde, et le dessus formé par

une planche rapportée, comme on le voit indiqué par la figure 3.

Il faut éviter d'orner les dossiers des siéges de panneaux à grands cadres, pour ne pas blesser le dos, ou couper le linge des ecclésiastiques. On pourrait, au lieu de panneaux renfoncés, former des panneaux saillans, dont les arêtes seraient arrondies dans le genre des coussins dont on garnit le dos des fauteuils avec des moulures à petits cadres, ainsi qu'on le voit représenté par la lettre C de la figure 1.

Les soubassemens des stalles se font avec de petits panneaux embrevés dans les patins et le dessous du sommier entre les deux consoles. Souvent on se contente d'un panneau renfoncé sans moulures autour.

Des patins.

Ce sont des espèces de plinthes indiquées par C, fig. 3, et 10, 11, 12, 13 et 14, de 2 pouces de haut sur autant d'épaisseur, qui servent de base à tout l'ouvrage; ces patins règnent dans toute la longueur des stalles, on les rallonge à trait de Jupiter; ils sont rainés par-dessus pour recevoir les soubassemens. Au bas de chaque console, on assemble de petits patins saillans de 4 pouces, figures 10 et 12. Les moulures de ces patins sont poussées à bois de bout; c'est pourquoi il faut choisir, pour les faire, du bois bien plein. Chacun de ces patins est percé d'une mortaise dans laquelle entre un tenon pratiqué dans le pied de la console inférieure des parcloses.

Le derrière des stalles du bas, ainsi que de celles du haut lorsqu'elles se trouvent isolées, peut être décoré avec

des panneaux à grands cadres, et des pilastres à cadres simples au droit des parcloses formant consoles.

Détail d'une des portes intérieures de l'église de Sainte Geneviève, planche CLVI.

Nous avons choisi une de celles du fond de l'église communiquant au petit porche, par lequel on descend à la chapelle sépulcrale et aux cryptes.

La position de ces portes a exigé un compartiment différent pour chaque face. La figure 11 représente la face d'un des ventaux du côté de l'intérieur, et la figure 12 la face opposée à l'extérieur. On a fait usage des assemblages flottés pour le raccordement des bâtis et des moulures dont ils sont ornés. Les assemblages et les profils sont dessinés sur une échelle plus grande, figures 13, 14, 15 et 16.

La figure 13 représente une coupe horizontale indiquée sur les figures 11 et 12, par les lignes A B, C D, qui passent par le milieu des grands panneaux.

La figure 14 indique une autre coupe sur les lignes E F, G H, qui passent au milieu des panneaux de frise.

La figure 15 indique une coupe verticale sur les lignes I K, L M, pour faire voir la traverse N, flottée pour le raccordement des cadres intérieurs et extérieurs et le panneau O.

ARTICLE VIII.

Des chapiers et autres armoires de sacristie.

Les chapiers sont de grandes armoires à l'usage des sacristies ; elles présentent une disposition particulière qui mérite d'être décrite dans tous ses détails. Voyez la planche CLXI.

Leur largeur est de 11 pieds sur 5 pieds $\frac{1}{2}$ de profondeur et 3 pieds 3 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur ; ils sont garnis à l'intérieur de tiroirs demi-circulaires, dont le diamètre est de 10 pieds $\frac{1}{2}$ sur environ 3 pouces de profondeur. Le fond, qui est à claire voie, est formé par des traverses de 2 pouces de large qui se recroisent à angles droits pour former des vides de 6 pouces en carré, figure 2; elles sont emmanchées dans une courbe ou cerce de 7 à 8 pouces de largeur sur 1 pouce d'épaisseur. Ce fond excède la circonférence du tiroir de deux pouces (1).

Au pourtour, et sur le plat de cette cerce, à 2 pouces du dehors, sont assemblés 7 ou 8 montans marqués A de 3 à 3 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur sur 9 à 10 lignes d'épaisseur par le haut, et 15 à 16 par le bas, afin de pouvoir y faire un double tenon pour plus de solidité.

Aux deux côtés de ces montans sont des rainures de 4 à 5 lignes de largeur, qui correspondent à une autre rainure creusée au pourtour de la cerce, pour recevoir les courbes qui forment le côté cintré du tiroir.

(1) Ces détails, ainsi que les mesures, sont tirés de l'Art du Menuisier, par Roubo.

Le devant est fait d'une forte planche ou membrure de 2 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur sur 3 po. de hauteur depuis le fond.

Au milieu B de cette devanture est percé, dans toute sa hauteur, un trou d'un pouce de diamètre, qui se trouve au centre de la circonférence du tiroir.

On garnit ce trou d'un canon de cuivre formant un rebord carré à ses extrémités, pour le fixer en dessus et en dessous du tiroir avec des vis, après avoir entaillé le bord de son épaisseur, figures 8 et 9, afin de former une surface unie.

Au travers de ces trous pratiqués au milieu de la face de chacun des tiroirs, on fait passer un axe de fer bien arrondi, autour duquel ils doivent tourner pour sortir en dehors.

Chaque tiroir est séparé par une plaque ou rondelle de fer de 2 ou 3 lignes d'épaisseur, percée d'un trou rond, pour l'enfiler dans l'axe, afin d'isoler les tiroirs. On fait ces rondelles en fer, pour rendre le mouvement plus doux en tournant sur les rebords en cuivre des canons et les rendre moins susceptibles de s'user. Les figures 1, 2, 3 et 4 représentent le plan, l'élévation, la coupe du chapier, et une perspective qui fait voir la manière dont ces tiroirs s'ouvrent.

Les fig. 4, 6 et 7 indiquent le détail des assemblages des tiroirs avec leurs ferrures.

Il y a deux manières de soutenir la circonférence des tiroirs lorsqu'ils sortent. La première est de poser 6 montans A au pourtour, assemblés dans le chapier; on les garnit de poulies, ainsi que les pieds de devant du chapier, sur lesquelles doivent rouler les tiroirs. Ce moyen, outre qu'il est fort coûteux, demande, de la part des ouvriers, beaucoup de précision et de soins dans l'ajustement; sans

cela, les tiroirs sont rudes ou difficiles à mouvoir et sujets à se déranger pour peu qu'on les force. Pour éviter en partie ces inconvéniens, il faudrait que les poulies fussent un peu coniques et tendantes au centre du tiroir, afin de porter dans toute leur épaisseur, et qu'elles usent moins le bois. Pour une plus grande perfection, l'axe de ces poulies devrait être mobile, en diminuant de grosseur, pour être aussi conique; et, pour qu'elles ne fussent pas dans le cas de se détacher des montans de bois, il faudrait les arrêter sur des plates-bandes de fer ajustées sur ces montans, figure 5, 6 et 7.

La grande dépense qu'occasione cette ferrure a fait imaginer un autre moyen qu'on appelle à *coulisseaux*, qui n'en exige point.

On place ces coulisseaux de manière qu'ils excèdent le bâtis de 2 pouces pour porter les tiroirs. L'épaisseur de ces coulisseaux est de 2 à 2 pouces $\frac{1}{2}$; on les assemble à tenons dans les pieds de devant du chapier et les montans intérieurs sur lesquels ils passent en enfourchement; c'est pourquoi il faut observer de tenir un des coulisseaux plus long de 2 pouces que l'autre, et pour les maintenir on place des taquets ou mentonets au-dessous des joints, ainsi qu'aux pieds de devant, fig. 10.

Il faut que le dessus de ces coulisseaux soit bien uni et de niveau, afin que le frottement soit le moindre possible; et pour faciliter encore plus le mouvement, on arrondit le dessus du coulisseau et le dessous des tiroirs, pour qu'ils ne portent presque qu'en un point.

La largeur de ces coulisseaux doit être de 4 $\frac{1}{2}$ à 5 pouces. Les montans ne sauraient avoir moins de 2 pouces d'épaisseur.

Le derrière des montans, ainsi que des coulisseaux, doit être rainé, pour recevoir des planches minces que l'on place couchées sur le côté, fig. 11.

Le bâti des chapiers doit se faire en bois de 2 pouces, avec panneaux en compartimens.

Lorsqu'il est isolé, on peut pratiquer des portes pour profiter de la place que laisse les parties circulaires.

Les montans qui portent les tiroirs doivent être disposés de manière que de deux en deux il s'en trouve un qui porte de fond, c'est-à-dire, sur le carreau de la sacristie.

Le dessus des chapiers se fait en bois d'un pouce ½ d'épaisseur, emboîté des deux bouts avec deux ou trois clés sur la longueur des joints; on pourrait aussi le faire en forme de parquet.

Les chapiers ne doivent pas poser sur le carreau, mais être élevés de 5 à 6 pouces, afin que l'air passe dessous. D'ailleurs, cette élévation est nécessaire pour placer au-devant un marche-pied de 2 pieds à 2 pieds ½ de large, qui doit régner au-devant de toutes les armoires des sacristies.

Le devant du chapier est formé de deux portes brisées, comme les volets qui sont ferrés au pied de devant; comme ces portes ont beaucoup de développement, on peut les fortifier à l'intérieur par des barres à queue placées diagonalement.

Lorsqu'on veut faire usage des tiroirs d'un de ces chapiers, on les soutient par deux poteaux marqués C de 3 pouces carrés de grosseur, qui se placent en avant dans des trous faits exprès dans le pavé, fig. 2, 3 et 4. Ces poteaux sont garnis de poulies à la hauteur de chaque tiroir,

mais souvent ces poteaux, qui ont peu de stabilité, déversent; ce qui fait échapper le tiroir et peut le faire forcer : c'est pourquoi il vaudrait mieux ajuster, sur un petit patin, des poteaux avec des contre-fiches; alors, au lieu de trous carrés qui sont désagréables à voir et quelquefois dangereux, on ferait de petites crapaudines en cuivre dans lesquelles entreraient trois goujons en fer de 5 à 6 lignes de gros, placés sous les patins de chaque poteau.

Autre chapier.

Il y a une autre manière beaucoup plus simple et moins coûteuse de faire des chapiers.

On forme une armoire de 8 à 9 pieds de largeur sur environ 7 pieds de haut, dans laquelle sont posées des potences tournantes sur lesquelles on pose les chapes ployées en deux; c'est pourquoi on leur donne 5 pieds à 5 pieds $\frac{1}{2}$ de saillie et autant de hauteur.

Ces potences sont posées à pivots dans les fonds de l'armoire; elles sont disposées de manière qu'on puisse les ouvrir et les fermer indépendamment les unes des autres, et qu'elles puissent même s'ouvrir toutes à la fois, si cela est nécesaire. Cette manière de faire les chapiers est très-commode; elle tient beaucoup moins de place que celles à tiroirs; les chapes s'y conservent mieux, sont moins sujettes à se froisser, surtout quand elles sont d'étoffes épaisses ou richement brodées. Les fig. 11 et 12 représentent un de ces chapiers dont toutes les potences sont disposées comme elles doivent l'être en plan et en élévation.

Cette manière de suspendre les chapes peut aussi servir pour les tuniques et les chasubles, en faisant usage de porte-

manteaux attachés à des tringles de fer, ainsi qu'on le pratique pour les armoires des garde-robes. La figure 15 indique la forme des porte-manteaux pour les tuniques, et la figure 16 celle pour les chasubles.

Autres armoires.

Il y a d'autres armoires d'appui pour les chasubles et autres ornemens de moyenne grandeur. Leur largeur doit être de 4 pieds au moins sur 2 pieds ½ de profondeur.

Il y en a qui sont garnies de tiroirs dans lesquels on place les ornemens; d'autres ne contiennent que des tablettes à claire-voie, ajustées sur des coulisseaux. Leur distance varie de 4 à 8 pouces, en raison des ornemens qu'elles doivent contenir.

Au-dessus des armoires d'appui, on en place d'autres qui sont de deux espèces; les unes pour les sacristies des messes, et les autres pour celles appelées trésors.

Celles pour les sacristies des messes ne doivent pas avoir plus de 2 pieds de haut sur 15 à 18 pouces de largeur, leur usage n'étant que pour serrer les calices. Au-dessous sont des tiroirs pour les linges et autres choses, de sorte qu'il faut que chaque prêtre ait son armoire particulière et le tiroir au-dessous.

Les autres armoires pour les sacristies ou trésors servent à serrer l'argenterie, le linge, la cire et autres effets. Toutes ces armoires doivent être très-solides, d'une décoration simple et noble, avec des panneaux arrasés en dedans.

Les figures 13, 14 et 17 représentent ces différentes sortes d'armoires.

Les plus belles sacristies sont celles de Notre-Dame de Paris, de Saint-Sulpice et de Saint-Jacques-du-Haut-Pas, tant pour la décoration, que pour la disposition et la beauté de l'exécution.

ARTICLE IX.

Des porches.

Les porches sont des espèces de vestibules en menuiserie, que l'on construit à l'entrée des églises dans l'intérieur, pour les garantir des impressions de l'air dans les mauvaises saisons et du bruit de dehors qui pourrait troubler le service divin.

Ces vestibules se faisaient autrefois en pierre, ainsi qu'on en voit plusieurs exemples; cette matière est toujours préférable pour ces constructions parce qu'elle s'accorde mieux avec les parties de l'édifice, que ceux de menuiserie dont la décoration est assujettie à des données particulières.

Ces porches se font de deux manières: ou ils sont de simples retranchemens en menuiserie avec de doubles portes, ou ils font partie de la décoration des tribunes dans lesquelles on place les buffets d'orgue. Cette dernière est la plus avantageuse, parce qu'on peut les décorer d'un ordre d'architecture en colonnes ou en pilastres.

En général, les porches sont composés d'une porte principale et de deux portes de côté. La principale, qui est au milieu, doit être à deux venteaux et avoir depuis 6 pieds jusqu'à 10 de largeur selon la grandeur de l'église; les autres ne sont qu'à un venteau; leur largeur ne doit pas

avoir moins de 3 pieds, deux personnes doivent y pouvoir passer commodément.

Leur construction doit être très-solide; et rien ne doit être épargné pour n'y employer que des bois d'une force et d'une qualité convenables.

Les porches sont ordinairement à double parement; mais lorsqu'ils sont d'une certaine grandeur, il est mieux de les faire de deux revêtemens de menuiserie appliqués sur un bâti de charpente, ce qui leur donne plus de solidité. Le plafond de l'intérieur de ces porches doit aussi être formé en menuiserie dont les compartimens s'accordent avec l'ensemble de la décoration.

ARTICLE X.

Des buffets d'orgue, planche CLXII.

Ce sont des ouvrages de menuiserie combinés de manière à former une décoration avec les tuyaux d'orgue qu'ils renferment.

On distingue trois espèces de buffets d'orgues; de grands, de moyens et de petits. Les grands comprennent trois parties, savoir: Le pied ou massif, la montre qui est au-dessus, et le positif qui est en avant.

Le pied ou massif A est un corps de menuiserie décoré de panneaux et de pilastres qui sert à élever la montre. C'est dans la hauteur de ce massif que sont placés les claviers à pédales, les claviers à main, les registres, les abrégés, ainsi que tout le mécanisme pour faire jouer l'instrument. Ce massif qui sert de soubassement à toute

la face de l'orgue, ne doit pas avoir plus des deux tiers de la hauteur des moyennes tourelles de la montre qui doit dominer.

La montre se compose de tourelles B de différentes hauteurs séparées par des arrière-corps, moins élevés, auxquels on donne le nom de plates-faces. Le tout est garni de tuyaux apparens en étain poli qui en font le principal ornement. Les tourelles, qui sont circulaires en plan, doivent saillir du devant des bâtis des $\frac{6}{14}$ de leur largeur ou diamètre, c'est-à-dire, que leur centre doit être en avant d'un septième de diamètre.

La corniche C qui termine le massif d'un buffet d'orgues, doit régner autour des tourelles pour leur servir de base; le dessous au droit de chaque tourelle est terminé par un cul-de-lampe D. Le haut des tourelles est décoré par une espèce d'entablement E avec un amortissement au-dessus surmonté de vases, de figures ou d'attributs de musique.

Les plates-faces qui contiennent des tuyaux de longueurs inégales, se raccordent avec les tourelles par des contours en consoles et des ornemens qui sont entièrement à la disposition du goût de l'artiste.

Dans les plates-faces, comme dans les tourelles, on cache les bouts des tuyaux avec des ornemens découpés qu'on appelle claire-voie.

Cette planche présente les détails d'un buffet d'orgue tiré de l'Art du menuisier par Roubo, afin de faire connaître toutes les parties dont cet instrument se compose, mais non pour servir de guide sous le rapport de la décoration. Les corniches sont continuées sur les côtés. Le derrière est un compartiment simple de panneaux et de traverses avec des portes dans toute la longueur qui correspondent aux compartimens

du haut. A la hauteur de ces portes, on place en saillie une espèce de pont F pour communiquer à ces portes et travailler dans l'intérieur.

Les buffets d'orgue exigent plus de solidité que les autres ouvrages de menuiserie, parce que le moindre ébranlement peut déranger le mécanisme de l'instrument. Les épaisseurs des bois qui forment le bâtis ou carcasse doivent être de 2 ou 3 pouces pour les petits buffets d'orgue, de 4 à 5 pouces pour les moyens, et de 5 à 6 pouces pour les grands. Les montans au droit des tourelles doivent descendre jusque sur le sol de la tribune où l'orgue est placée avec des traverses en entre-toise et en contre-fiche comme pour la charpente. Il faut placer à la hauteur de l'architrave et de la corniche du massif de grandes traverses qui doivent former, autant qu'il est possible, toute la longueur de l'orgue; si on ne peut pas les faire d'une seule pièce, on les assemblera à trait de Jupiter. Du côté du derrière de l'orgue on en place une autre afin de maintenir plus solidement toutes les parties des assemblages.

Il serait superflu d'entrer dans un plus grand détail relativement aux assemblages, d'après ce qui a été dit précédemment. Il ne peut y avoir de particularité qu'en raison de la forme et du dessin, qui dépendent du goût de celui qui en est chargé.

Comme les orgues se composent de tuyaux de différentes grandeurs et grosseurs en étain poli, qui peuvent faire ornement et caractériser l'instrument, il s'agit de les arranger de manière à former un ensemble agréable qui ne puisse pas gêner le jeu de l'instrument.

Les formes de tourelles et de plates-faces employées

jusqu'à présent ne sont pas les seules qu'on puisse choisir pour faciliter une composition agréable, d'autant plus que la montre peut contenir quelques tuyaux de plus dont on ne fait pas usage, ou quelques tuyaux qui ne soient pas apparens. Il est plus convenable d'adopter des formes qui caractérisent l'instrument, que des décorations d'architecture qui le font disparaître.

ARTICLE XI.

Des retables d'autels, chaires à prêcher, confessionnaux, et bancs d'œuvre.

Les rétables en menuiserie sont des décorations d'architecture au-devant desquelles on place les autels. Ils sont ordinairement ornés de colonnes ou de pilastres avec des tableaux, des bas-reliefs et des statues. Nous nous bornerons ici à donner les détails des ornemens d'architecture qui entrent dans l'ensemble de ces décorations.

Des colonnes de menuiserie, planche CLXIII.

Pour faire des colonnes en menuiserie qui ne soient pas susceptibles de se fendre ou de se désunir, il faudra les faire, comme les panneaux cintrés en plan, de plusieurs pièces jointes et collées ensemble. On placera au milieu un poteau plus ou moins fort en raison du poids qu'elles peuvent avoir à soutenir. On ajustera aux extrémités de ce poteau des pièces appelées mandrins, sur lesquelles on

arrêtera celles qui doivent former la circonférence de la colonne, dont le nombre doit être proportionné à son diamètre. Dans les colonnes dont le diamètre n'excède pas un pied et demi, ce nombre peut être de huit, qui forment à l'intérieur un octogone, comme les mandrins sur lesquels elles doivent être arrêtées.

Lorsque le fût doit être uni et isolé tout autour, il est assez difficile d'empêcher les bois de se désunir en se retirant, tels secs qu'ils puissent être; mais si elles sont placées à peu de distance du mur ou fond qu'elles doivent décorer, on laisse un joint un peu ouvert, sans être collé, dans un endroit où il ne puisse pas être vu, sur lequel se porte tout l'effet de retraite et de gonflement des bois, par la refuite qu'on a soin de faciliter aux autres pièces dans leur assemblage.

Si le fût de la colonne doit être orné de cannelures, il vaut mieux que les joints des pièces qui doivent former sa circonférence se trouvent au droit des côtes que dans les cannelures, parce qu'on peut rapporter dessus des tringles qui les cachent.

Lorsque les cannelures sont plates, il est facile de faire les côtes à recouvrement, de manière à cacher le joint figure 10; si ces cannelures sont creuses et remplies de baguettes ou roseaux, on pourra faire les joints comme l'indique la figure 11.

Des bases.

On peut faire les bases de colonnes de deux manières; en plein bois, ou vides dans le milieu. La première manière a l'inconvénient, lorsque les bases sont un peu grandes, d'être sujette à des fentes, des gerçures, et à une retraite qui fait qu'elles ne s'accordent plus avec les fûts des colonnes.

La seconde manière consiste à former les bases comme des fûts de colonne, de plusieurs pièces de bois de bout; ce moyen quoique plus coûteux est préférable.

Le socle de la base se fait à part en quatre parties, dont les joints sont selon les diagonales, afin d'avoir du bois de fil sur chaque face. Dans le milieu, on pratique une rainure circulaire pour recevoir la partie qui forme les moulures. Cette partie, formée comme nous l'avons dit, de morceaux de bois de bout joints et collés ensemble comme ceux du fût de la colonne, doit porter une entaille par le haut qui se recouvre par le bas du fût de la colonne, afin de cacher le joint. Voyez les figures 7, 8 et 9

Des chapiteaux.

Les chapiteaux se forment comme les bases, soit pour les moulures, s'il est toscan, dorique ou ionique; soit pour les feuilles, s'il est corinthien, figures 5 et 6.

Le tailloir se forme de quatre pièces assemblées selon les diagonales, comme le socle de la base, figure 9.

Les figures 12 et 13 représentent deux manières de former en menuiserie une entablement corinthien.

Toutes les parties qui forment les moulures s'ajustent les unes sur les autres, à rainures et languettes.

L'entablement, fig. 13, est composé d'un plus grand nombre de pièces pour le cas où il serait sur une plus grande échelle, ou formé de bois moins gros. Il faut remarquer qu'il vaut mieux, pour la facilité de l'exécution, faire la partie denticulaire d'une pièce séparée à cause de l'évidement des denticules. Quant aux modillons, ils se font à part et se rapportent après. On les assemble à tenons dans la face du fond, et on les arrête sous le soffite avec des clous à vis qui ne paraissent point.

Il nous reste à parler de quelques dispositions et dimensions au sujet des autels, indépendamment de leur forme.

Le coffre formant l'autel doit avoir 3 pieds 3 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur sur 2 pieds $\frac{1}{2}$ de largeur; quant à la longueur, elle varie selon la place, depuis 7 pieds jusqu'à 9 ou 10 pour les autels ordinaires, et de 15 à 18 pour les maîtres-autels. Ils doivent être élevés au-dessus du sol d'une marche au moins; lorsqu'on le peut, il convient de les élever sur trois marches. Le dessus du marchepied doit avoir 2 pieds $\frac{1}{2}$ à 3 pieds de largeur; sa longueur doit excéder celle de l'autel d'environ 6 pouces de chaque côté.

Le parquet d'assemblage et les marches doivent être établis sur un châssis de charpente garni des pièces de bois nécessaires pour lui procurer la solidité convenable.

La forme du coffre d'autel varie selon le goût de celui qui en donne les dessins; il peut être carré ou en forme de tombeau.

Au-dessus de l'autel joignant le retable ou le mur auquel

il est appliqué, on forme deux ou trois gradins de 5 à 6 pouces de hauteur et de 8 à 10 de largeur pour placer la croix et les chandeliers.

Des chaires à prêcher.

Ce sont des espèces de tribunes élevées où les prédicateurs montent pour débiter leurs sermons. L'usage le plus ordinaire est d'appliquer les chaires aux piliers des églises auxquels elles paraissent suspendues, avec des espèces de dais ou abat-voix au-dessus et des escaliers tournans pour y monter.

Les chaires sont un des ouvrages les plus importans de la menuiserie, tant pour la forme qui est toujours recherchée, que pour l'exécution qui exige beaucoup de pureté et de perfection.

Le dessous des chaires se termine ordinairement en cul-de-lampe avec de fortes moulures formant le soubassement de la chaire proprement dite.

La grandeur des chaires, à l'extérieur, varie depuis 3 pieds ½ jusqu'à 4 pieds ½ et même 5 pieds, mais celle qui convient le mieux est 4 pieds. Le plancher doit être élevé de terre de 6 à 7 pieds, la hauteur de l'appui est de 2 pieds ½; ce qui fait 8 pieds ½ à 9 pieds ½ depuis le pavé.

Le dais ou abat-voix doit être à 5 pieds du dessus de l'appui et excéder le dedans du corps de la chaire d'un demi-pied, au moins, tout autour.

La forme la plus ordinaire des chaires est octogone, avec des avant-corps et des faces droites ou cintrées.

Les chaires à prêcher qui passent pour être les plus

belles à Paris sont : celles de Saint-Étienne-du-Mont, de Saint-Gervais, de Saint-Thomas-d'Aquin, de Saint-Roch, de Saint-Jacques-du-Haut-Pas. Mais ces ouvrages de sculpteurs, de peintres ou de menuisiers, n'ont ni la pureté, ni la dignité qui leur convient. Au lieu d'être suspendues à des piliers, elles devraient porter de fond sur un soubassement qui les élève à une hauteur suffisante. Lorsqu'on ne peut pas les adosser à un fond, il faut les faire isolées et portatives comme celle de Notre-Dame, qui peut servir de règle en pareil cas.

On parlera, dans l'article suivant, où il sera question de l'art du trait relativement à la menuiserie, des principales difficultés que présente l'exécution de ces ouvrages, particulièrement des escaliers tournans et des rampes qui leur servent d'appui.

Des confessionnaux.

Les confessionnaux peuvent plutôt être considérés comme des meubles que comme des menuiseries de bâtimens. Les ouvriers habiles qui ont presque toujours été chargés de ces ouvrages, se sont attachés à leur donner des formes et des contours qui supposent plus d'art que de goût. On en peut dire autant des bancs d'œuvres qui sont susceptibles de recevoir une infinité de décorationsdifférentes et dont nous nous dispenserons de donner aucun détail particulier.

ARTICLE XII.

De l'art du trait.

Pour les ouvrages de menuiserie ordinaires qui servent à former ou à revêtir des surfaces droites, on se contente d'en *marquer le plan* dans sa grandeur sur une planche ou surface unie, c'est-à-dire, d'en faire une coupe horizontale ou verticale sur l'épaisseur, où l'on marque les profils des cadres, les montans ou traverses, les panneaux, avec leurs assemblages, leur largeur et épaisseur.

Lorsque dans ces ouvrages il se trouve des compartimens obliques, irréguliers, ou en lignes courbes, il faut, outre le plan, tracer en grand l'élévation de face.

Mais si ces ouvrages doivent former ou revêtir des surfaces courbes, avec des compartimens qui exigent des montans et des traverses cintrés en plan et en élévation, il faut avoir recours à l'art du trait pour en tracer l'épure et les calibres qui doivent servir au développement de ces pièces, prises dans des bois droits.

Les principes géométriques de ces opérations sont les mêmes que nous avons ci-devant expliqués pour la coupe des pierres et la charpente.

On parvient à former correctement une surface courbe quelconque, en commençant par bien examiner les élémens dont elle se compose. Ces élémens sont des lignes droites ou des lignes courbes; ainsi une surface courbe peut être formée d'une suite de lignes droites tirées d'un cercle à un autre, comme celle d'un cylindre; ou d'une

ligne courbe à un point comme la surface d'un cône. Une surface cylindrique peut aussi être formée par des circonférences de cercle égales dont les centres seraient sur une même ligne droite qui formerait son axe.

Si ces circonférences, au lieu d'être égales, diminuent en progression arithmétique, elles formeront une surface conique; mais comme la diminution de ces courbes peut suivre une infinité de progressions différentes, il arrive que les surfaces qui en résultent ne pouvant plus être exprimées en aucun sens par des lignes droites, deviennent du genre de celles qu'on nomme à double courbure, telles que les sphériques, les sphéroïdes et les conoïdes, qui sont censées produites par la révolution d'une courbe autour de son axe.

Indépendamment des surfaces courbes régulières dont il vient d'être question, il s'en trouve une infinité d'autres formées d'une suite de lignes plus ou moins courbes, qui se raccordent avec d'autres lignes courbes ou des lignes droites.

Il est cependant bien essentiel de remarquer que les revêtemens de menuiserie doivent plutôt être considérés comme un objet de décoration que comme un moyen de recouvrir exactement des surfaces qui présenteraient des irrégularités choquantes; il faut, au contraire, que les revêtemens corrigent ou suppriment, autant qu'il est possible, les irrégularités qui peuvent se trouver, plutôt que de les reproduire par une scrupuleuse exactitude, qui souvent n'a d'autre motif que de faire valoir le talent de l'ouvrier par une difficulté qui produit un effet désagréable.

ARTICLE XIII.

Des surfaces à courbure simple.

On comprend, dans ce genre de surfaces, toutes celles qui sont droites d'un sens et courbes de l'autre. Les surfaces cylindriques sont celles qui sont les plus faciles à former ou à revêtir, parce qu'elles peuvent se composer de montans droits, arrondis ou recreusés dans le sens de leur largeur, et réunis par des joints droits tendans au centre de la courbe, comme ceux des douves d'une cuve, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 16, planche CLXIII; on peut encore former ces surfaces avec des traverses cintrées posées les unes sur les autres, figure 17.

Lorsque ces revêtemens doivent former décoration, on peut les diviser comme les lambris à surfaces droites, en compartimens de pilastres et de panneaux, avec des cadres ornés de moulures : alors ils se composent de montans droits et de traverses cintrés suivant leur longueur, renfermant des panneaux formés de planches réunies à joints droits cintrés selon leur largeur, comme les montans.

Il faut éviter de faire des compartimens trop larges, à cause des traverses cintrées, qui ne peuvent être prises que dans des bois de menuiserie droits et méplats, dont l'épaisseur ne passe guère 5 pouces; d'ailleurs il en résulte que le fil du bois étant moins tranché, se travaille mieux et l'ouvrage en est plus solide. Lorsqu'on ne peut pas éviter d'avoir de grandes traverses dont la courbure soit considérable, il vaut mieux les faire de plusieurs pièces assemblées à trait de Jupiter.

Dans les traverses à courbure simple, on doit comprendre toutes celles qui peuvent être prises dans des bois droits et méplats en les chantournant, telles que les traverses qui forment des compartimens cintrés dans des lambris à surface droite, ou des compartimens carrés dans des surfaces cylindriques.

Le tracé de ces pièces ne présente pas beaucoup de difficultés; on se sert ordinairement pour cela de calibres levés sur le plan et l'élévation en grand des parties à exécuter; on les débite à la scie tournante dans des planches, des membrures, ou des battans de porte cochère, assez larges ou assez épais pour comprendre leur courbure.

Lorsqu'il se trouve des élégissemens à faire pour des moulures, on les fait parallèlement aux courbes tracées, et après les avoir ébauchées, on les finit avec des rabots cintrés exprès.

La forme des assemblages dépend de celle des compartimens; ils peuvent se faire à tenon et mortaise, carrément, d'onglet ou à bouement, à clefs, à rainures et languettes, etc., ainsi qu'on peut le voir indiqué par les fig. 18, 19 et 20.,

Lorsque les pièces ont trop de courbure pour être faites d'un seul morceau, on les fait de plusieurs, assemblées en flûte ou à trait de Jupiter, comme l'indiquent les figures 21, 22 et 23.

Pour les traverses droites, bombées en élévation, on rapporte quelquefois la partie échancrée d'un côté sur l'autre en la renversant, ou on la colle à joint plat, fig. 24.

Les panneaux cintrés sur la largeur se font avec des planches droites élégies selon la courbure du plan, réunies à joints plats bien dressés et collés perpendiculairement

à la courbe. Plus le panneau a de courbure et plus les planches doivent être étroites, afin qu'elles soient moins sujettes à se tourmenter. Ces planches ayant leurs joints biens dressés, on les colle et on les ajuste au moyen d'entailles creusées suivant la courbe, et terminées par des mentonnets ou parties saillantes, formant des angles aigus pour les maintenir avec des cales. Ces courbes sont préférables aux sergens, dont la plupart des menuisiers se servent, parce qu'en serrant ces sergens, on risque de faire courber ces panneaux plus qu'il ne faudrait malgré les cales qu'on peut y mettre. Voyez les figures 14 et 15.

ARTICLE XIV.

DU REVÊTISSEMENT DES VOUTES.

Des arrière-voussures.

Les lambris ou revêtissemens qui forment la partie la plus importante du trait de menuiserie, sont ceux qui se font sur les voûtes et surtout sur les arrière-voussures, derrière les portes ou croisées cintrées, soit pour leur donner plus de dégagement, soit pour faciliter l'ouverture des ventaux cintrés par le haut.

Les voûtes en berceaux cylindriques sont les plus simples; elles s'exécutent comme les lambris cintrés en plan, dont il a été ci-devant question, à l'article précédent. Il est à propos de remarquer que les menuisiers désignent ces espèces de voûtes, lorsqu'elles ont peu de profondeur ou qu'elles forment des renfoncemens, par le nom

d'archivolte, qui, dans sa vraie signification, indique un chambranle circulaire autour d'un arc, sur la face verticale.

Des voussures ou embrâsemens.

Les figures 1 et 2 de la planche CLXIV, représentent le plan, l'élévation et les détails du revêtement, en plein bois, d'une partie de voûte conique, formant l'embrâse-d'une porte ou croisée cintrée.

Le plan, figure 1, fait voir qu'on a divisé la largeur en tranches parallèles formant des arcs droits en saillie les uns sur les autres, pour trouver le biais de l'embrâsement, ou la surface conique qu'il doit former.

On peut encore former cette voussure en douves ou espèces de voussoirs, comme on le voit indiqué par les figures 3, 4 et 5.

Pour exécuter ces douves, on commencera par diviser la circonférence qui doit former l'arète extérieure, en autant de parties qu'on voudra avoir de douves, en raison des bois dont on peut disposer; ensuite on tirera, au centre *n*, qui représente le sommet du cône, les lignes qui doivent former les joints, et d'autres du milieu des douves; après quoi on tirera, de l'extrémité de ces joints, des lignes droites qui formeront des polygones inscrits à la circonférence intérieure et circonscrits à la circonférence extérieure. La distance de ces lignes donnera l'épaisseur des bois pour former l'arrondissement et le recreusement de chaque douve, et de plus la coupe des joints tendans au centre; cette voussure faisant partie d'un cône droit, la longueur de chaque douve sera égale à *f h*, figure 3.

L'élévation, figure 4, étant une projection parallèle à la base du cône, elle donnera les vraies largeurs des extrémités des douves; ainsi, pour avoir le développement de la planche qui doit former une de ces douves, il faudra tirer de tous les angles du profil *e d h l f*, figure 3, des perpendiculaires à A *d*, qui indiqueront les longueurs; ayant ensuite mené une parallèle 7, 10 à A *d*, on portera toutes les largeurs sur les lignes correspondantes, c'est-à-dire, 5, 2 et 5, 1 de 8 en *u* et de 8 en *x*; 13, *o* et 13, *r* de 9 en *z* et de 9 en *y*, etc., et l'on tirera, de tous les points portés, les lignes *s v*, *u z*, *x y*, *t x*, qui détermineront la forme d'une planche pour une des douves qu'on recreusera et qu'on arrondira par le moyen des cerces, prises sur l'élévation, en abattant le bois à la règle d'une courbe à l'autre, après les avoir divisées en un même nombre de parties égales. On ne forme la face *f e* qu'après avoir recreusé la douve sur laquelle on trace, par le point *e*, une parallèle à l'arète courbe qui se forme en *i* par le recreusement, et une autre parallèle sur l'épaisseur par le point *f*, et on abat le triangle *e i f*.

On assemble ces douves à rainures et languettes rapportées, pour rendre l'assemblage plus solide.

Lorsque ces embrâsemens n'ont pas beaucoup de largeur, on peut les faire de deux ou trois morceaux, qu'on fait ployer, mais il faut pour cela qu'ils soient coupés selon le développement du cône.

Pour cela, du point A, où se rencontrent les prolongemens des côtés *a b*, *d c*, on décrira deux arcs de cercle *a d*, *b c*, qui donneront la largeur et le contour que doivent avoir ces morceaux; pour avoir leur grandeur,

on la prendra sur la grande circonférence de l'élévation; l'ayant portée sur l'arc *a d*, on tirera des deux extrémités des lignes au point A, qui indiqueront leurs joints. Ce moyen peut être employé particulièrement pour les panneaux, qu'on courbe en les faisant entrer dans les rainures des bâtis.

Lorsque les embrâsemens sont en tour creuse, comme l'indiquent les fig. 6, 7, 8 et 9, on peut aussi les construire par cerce ou par douve; cependant la première manière est préférable, parce qu'elle est plus solide et qu'elle exige moins de bois et de travail pour l'évidement des parties creuses. On peut en juger par les lignes d'opération du plan figure 8.

Embrâsemens mixtes et gauches.

On ne donne pas les fig. 10, 11, 13 et 14 comme des formes à imiter, mais comme des applications du moyen de former des surfaces par tranches ou cerces. Dans les figures 10 et 11, l'embrâsement forme, à la naissance de l'arc, une tour creuse qui va en s'aplatissant, jusqu'à devenir une ligne droite au sommet.

Pour déterminer cet aplatissement, on a divisé l'épaisseur de cet embrâsement en 6 parties, et par les points de division, on a mené des parallèles à la face, pour indiquer l'épaisseur des cerces qui doivent former cette voussure.

De tous les points où ces lignes rencontrent la courbe, on élève des perpendiculaires sur la ligne *h f*.

Prenant ensuite successivement pour grand axe, *f o*, *f n*, *f m*, *f l*, *f i* et *f h*, le petit axe *f g* restant le même,

on décrira, par la méthode indiquée au troisième livre, page 113, des ellipses qui seront toutes tangentes au point *g*.

Ces ellipses déterminent, pour chaque point où elles passent, la mesure du recreusement de la surface.

Pour avoir une coupe en un endroit quelconque, telle que celle indiquée par la ligne 8, 14, on portera les divisions d'épaisseur sur une ligne tirée à part, fig. 12, et après avoir élevé des perpendiculaires de chaque point, on portera, sur chacune, les hauteurs correspondantes, prises sur la ligne 8, 14, et déterminées par la rencontre des ellipses, ainsi qu'on le voit indiqué sur cette figure, où les opérations sont indiquées par les mêmes chiffres.

Opération pour les figures 13, 14 *et* 15.

Dans ces figures, l'embrâsement, au droit des naissances, est formé par une ligne droite qui n'est pas perpendiculaire à la face, et au sommet par une courbe; ce qui fait le contraire de la précédente. Ayant déterminé, comme ci-devant, les divisions qui indiquent l'épaisseur des cerces, on élèvera de dessus le plan des perpendiculaires qui couperont la ligne de base *f k*, en des points qui marqueront les extrémités des quarts d'ellipse et leur demi-petit-axe, en partant du point *f*.

On fera la même opération pour la courbe répondant au sommet, pour avoir les extrémités des demi-grands-axes, fig. 14. Ainsi, connaissant les axes de chaque ellipse, on pourra les décrire par la méthode indiquée ci-devant.

On trouvera la courbure de la partie formant niche, se-

lon une ligne droite quelconque, par le même procédé que pour la figure précédente. Celle de la fig. 15 est prise au milieu sur le grand axe.

Des calotes.

On désigne par ce nom, en menuiserie, toutes les voussures pleines à double courbure, formant des demi-voûtes verticales, telles que les niches.

Ces voussures peuvent se former par des cerces verticales ou horizontales.

La figure 17 indique une demi-niche sphérique, formée par des tranches ou cerces verticales, avec un fond demi-circulaire au centre. Le plan et le profil, fig. 16 et 18, suffisent pour l'intelligence de cette opération.

La figure 20 est une niche sur-haussée sur un plan demi-circulaire, figure 19, formée par tranches ou cerces horizontales, avec le profil, fig. 21, qui indique l'arrangement des pièces de bois pour la former.

Il résulte de ces exemples, et de tout ce qui vient d'être dit, qu'on peut former ou revêtir, par cette méthode, toutes sortes de surfaces à courbure simple ou à double courbure; tout l'art consiste à tracer les courbes qui conviennent à chaque cerce, quelle que puisse être sa position, soit horizontale, soit verticale ou inclinée. Pour faire voir combien cette méthode est générale, nous allons en faire l'application à des arrière-voussures, qui sont des surfaces courbes et gauches, en raccordement avec les différentes courbures ou lignes droites qui les terminent.

Première application à une arrière-voussure, dite de Marseille. Planche CLXV.

Ces voussures sont des espèces de surfaces coniques, formées d'un sens par des lignes droites, qui se raccordent avec les lignes courbes qui les terminent. L'ouverture de la porte est ordinairement terminée en demi-cercle par le tableau, et les feuillures pour le placement des portes mobiles, suivent le même cintre; tandis que les arêtes extrêmes des embrâsemens sont réunies par un arc de 50 à 60 degrés, dont le rayon est beaucoup plus grand. Les rencontres des faces droites des embrâsemens avec la voussure, ne devraient pas être des arcs de cercle comme on le pratique, mais des courbes particulières, soit que la surface de la voussure se trouve exactement conique ou non.

En parlant de l'appareil de ces voussures, au quatrième Livre, page 227, nous avons dit qu'il fallait des points R, figure 1 et 4, planche XLVI, où l'arête extérieure de l'embrâsement rencontre celle de la voussure, tirer une perpendiculaire R V, à la demi-circonférence, qui se raccorde avec les feuillures, et après avoir divisé les arcs ou lignes droites R O et les arcs V P et R T E en parties égales, tirer des lignes droites des points correspondans.

Dans l'exemple présenté ici, figures 1, 2, 7, 8, etc., pour parvenir à former cette voussure d'une manière plus régulière, nous avons supposé la courbe *o* R, continuée jusqu'à la rencontre d'une ligne horizontale, passant par le centre de la demi-circonférence ; après

avoir divisé cette demi-circonférence en un nombre déterminé de parties égales, par exemple en 10, on a tiré du centre, par chaque point de division, des lignes droites prolongées jusqu'à la rencontre de l'arc F R *o*. Ces lignes indiquent autant de sections de cette voussure coupée par des plans droits tendans à un même axe, dont le point de projection est indiqué par la lettre C, figure 1.

Pour avoir les différentes courbures des sections parallèles à l'élévation de face, figure 1, on a divisé chaque ligne tendante au centre en quatre parties égales, et par les points de division, on a fait passer trois courbes, qui partagent l'épaisseur de l'embrasement en quatre tranches.

Au moyen de ces divisions, sur l'épaisseur et sur la face, on peut former cette arrière-voussure en plein bois, par douves ou par courbes, comme nous l'avons expliqué pour les voussures precédentes.

Les figures 1 et 7 font voir la manière de former la voussure entière, soit avec des lignes tendantes au centre, ou avec des arcs plus ou moins courbes parallèles à la face, qui vont en se redressant depuis la demi-circonférence, qui se raccorde avec la feuillure jusqu'à l'arc formant l'arête de la face intérieure du mur.

La figure 5 indique le développement de la demi-voussure avec la partie sur laquelle doit être placé le revêtement de menuiserie, afin d'y pouvoir tracer dessus le compartiment qu'il doit former.

La figure 4 est un profil pour trouver le rallongement des lignes droites tendantes au centre, qui doivent servir

à former ce développement, ces lignes n'étant représentées qu'en raccourci dans l'élévation, figure 1.

Le mur étant censé compris entre deux surfaces parallèles, on a indiqué son épaisseur, qui est partout la même, par la ligne *a b*, perpendiculaire à *b f*.

Sur cette ligne *b f*, on a porté la grandeur des lignes de division, tendantes au centre et comprises entre les arcs extrêmes F R *o* et E V *d*, 1, 11; 2, 12; 3, 13; 4, 14; 5, 15, etc., figure 1; de *b* en *o*, 11, 12, 13, 14, 15, etc. figure 4.

De tous ces points, on a tiré au point *a* des lignes qui sont les rallongemens des lignes exprimées en raccourci, figure 1, et qui ont servi à former le développement, figure 5.

Il est essentiel de remarquer que les lignes droites qui forment cette arrière-voussure, paraissent, dans la figure 1, concourir à un même centre C, tandis qu'elles tendent réellement à différens points d'un même axe dont ce centre est la projection.

Pour tracer avec plus d'exactitude ces lignes rallongées du développement, il est nécessaire de connaître la distance de ces points à ceux de la circonférence E V *d*, qui termine la voussure du côté de la feuillure. Pour y parvenir, on a tracé, à une distance du point *b* égale au rayon E C, une autre perpendiculaire à *b f*, prolongée en D, fig. 4. Cette perpendiculaire D *o* représente l'axe jusqu'à la rencontre duquel on a prolongé les lignes tirées du point *a*, qui indiquent les points *e*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, *p*, *q*, de l'axe où chacune aboutit, et leur éloignement du point *a*, qui indique la circonférence E V *d*, fig. 1.

Tous ces points doivent être reportés dans leur même position sur la ligne *o d*, du développement, figure 5, où ils sont désignés par les mêmes lettres; ils indiquent les points où chaque ligne droite doit aboutir. Les autres points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10, de la circonférence développée, par lesquels ces lignes doivent passer, ont été trouvés en recroisant les distances *a o*, *a e*, *a g*, *a h*, *a i*, *a k*, *a l*, *a m*, *a n*, *a p*, *a q*, des points correspondans *o*, *e*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, *p*, *q* du développement figure 5, avec une des divisions de cette circonférence qui sont toutes égales. Par chacun de ces points marqués 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10, et par les points correspondans *e*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, *p*, *q*, sur la ligne *o d*, on a tiré des lignes droites sur lesquelles on a porté les longueurs de celles des profils *a* 11, *a* 12, *a* 13, *a* 14, *a* 15, *a* 16, *a* 17, *a* 18, *a* 19, *a* 20, de 1 en 11, 2 en 12, 3 en 13, 4 en 14, 5 en 15, 6 en 16, 7 en 17, 8 en 18, 9 en 19 et 10 en 20.

Après avoir tracé sur ce développement la courbe formée par la rencontre d'un des embrâsemens droits, on a indiqué le compartiment de panneaux le plus en usage pour cette espèce de revêtement, avec les assemblages des cintres et des traverses qui forment le bâtis. fig. 12, 13, C'est le moyen le plus simple et le plus facile pour réussir. Ces revêtemens n'étant pas ordinairement fort grands, on peut, après avoir tracé le compartiment sur le développement, lever des calibres en carton pour les traverses; ayant ensuite préparé des bois creusés en douve, on applique dessus les calibres de carton pour les chantourner, ainsi que les panneaux.

Si ces traverses ou panneaux exigent trop de largeur pour être contenus dans des douves terminées par des

lignes droites, on peut ajuster, sur les bouts, les courbes correspondantes, divisées en parties proportionnelles afin de pouvoir y appliquer la règle, et creuser ces traverses ou panneaux avec plus d'exactitude et moins de déchet, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 6.

Autre arrière-voussure conique, de Marseille, planche CLXV.

Ces arrière-voussures se forment, comme nous l'avons dit, de lignes droites qui se raccordent avec des lignes courbes; mais comme ces lignes droites peuvent varier dans leur arrangement et leur direction, il doit en résulter des surfaces différentes.

L'arrière-voussure précédente était formée de lignes droites, perpendiculaires à la circonférence intérieure et qui tendaient à différens points d'un même axe: dans celle-ci, les lignes droites sont obliques aux deux circonférences et tendent à un seul point, qui est le sommet d'un cône scalène, coupé par quatre plans, dont deux parallèles F M, G L, figure 8, pour les faces, formant deux sections circulaires et deux autres qui divergent en plan, tel que B D, figure 9, pour les embrâsemens droits, et qui forment des sections hyperboliques I N, figure 8.

Lorsqu'il ne s'agit que d'un revêtement en plein bois, on peut le faire facilement en le divisant par tranches parallèles à la face, formant des cerces, comme nous l'avons ci-devant indiqué pour les voussures simples, parce que les courbures sont des arcs de cercle dont les centres sont déterminés par l'intersection de l'axe A H, avec les lignes qui indiquent l'épaisseur de chaque cerce, figure 8.

Mais lorsqu'il s'agit d'un compartiment avec des panneaux, il faut, pour plus de régularité, le tracer sur le développement, figure 11.

Ce développement se fait au moyen des lignes droites tirées du point A, figure 7, qui représente le sommet du cône, par les points du quart de cercle *d* B, divisé en douze parties égales, et prolongées d'une part jusqu'à l'arc G N, et de l'autre jusqu'à la courbe B N, déterminée par les parallèles élevées de l'embrâsement B D, figure 9.

Le profil, figure 10, donne le rallongement de toutes ces lignes pour faire le développement, figure 11. Les parties de ligne, depuis le point *a* jusqu'à la ligne *k m*, servent pour la courbe intérieure, comprise de *d* en B, qui est le développement du quart de cercle, figure 7, avec ses mêmes divisions. Les lignes comprises entre *k* 6 et *b* 18, donnent le développement de la partie de voussure, depuis la ligne *d* G, jusqu'à la ligne 6 18; et celles comprises entre une partie de la ligne *k m*, et les points 18, 19, 20, 21, 22, 23 et 24, donnent la pointe de la voussure qui se raccorde avec l'embrâsement.

Arrière-voussure, dite de Montpellier.

Cette arrière-voussure, représentée par la figure 1, planche CLXV *bis*, est comprise entre une demi-circonférence de cercle et une ligne droit. Elle se forme comme la précédente, dite de Marseille, que nous avons donnée, dont elle ne diffère que par la ligne de sommité, qui est droite au lieu d'être courbe.

Pour avoir les courbes intermédiaires, entre la demi-circonférence et la ligne droite, on a divisé chacune de celles tendantes au centre en un même nombre de parties, et l'on a tracé, par les points de division, des courbes qu'on a prolongées jusqu'à la rencontre des parallèles de la ligne B D, du plan figure 2, qui indique l'embrâsement.

La figure 3 est une espèce de profil, comme celui que nous avons fait pour la première arrière-voussure de Marseille, afin de trouver le rallongement des lignes droites tirées au centre, qui divisent la voussure dans la figure 1, et les différens points de l'axe auxquels elles aboutissent.

La figure 4 exprime le développement de la voussure, sur lequel on a tracé le compartiment du bâti.

Il faut remarquer que la ligne droite qui termine la voussure, n'étant susceptible d'éprouver aucune extension, elle peut servir de base au développement de la voussure.

Ainsi, ayant tracé l'horizontale 9, 1, figure 4, qui représente l'arête droite de l'ouverture, prolongée, et dans sa véritable grandeur; on a élevé la perpendiculaire 1, *k*, qui a pour grandeur celle de l'axe prise sur le profil, on a porté sur chacune les points où viennent aboutir les extrémités opposées des lignes divergentes; et sur ce treillis on a tracé le développement de la voussure, en portant des points correspondans et dans leur juste grandeur, la mesure des lignes divergentes, entre leur rencontre avec la circonférence et la ligne droite qui termine la voussure.

Autre manière de faire ces arrière-voussures.

Elle consiste à raccorder la demi-circonférence de cercle et la ligne droite entre lesquelles la voussure est renfermée,

par des courbes qui ne peuvent être que des quarts d'ellipse pour se raccorder avec des tangentes inégales qui forment des angles droits.

La voussure peut être formée de cerces placées les unes devant les autres, comme l'indique la figure 6, alors on se contente de trois quarts d'ellipse, dont un pour le raccordement du milieu, et les deux autres pour ceux des extrémités, contre les embrâsemens des pieds droits. On trace sur chacun des parallèles qui indiquent l'éloignement des cerces et les points où doivent se terminer les arcs de cercles, dont le centre se trouve sur la ligne du milieu, et le sommet sur les divisions correspondantes aux points où elles coupent le quart d'ellipse placé au milieu de la clef.

Pour produire une voussure plus régulière, il faut décrire un plus grand nombre de quarts d'ellipse; ils doivent être exprimés en plan, par des lignes tendantes au même point que celles des embrâsemens.

Comme on connaît les deux demi-axes de chaque quart d'ellipse, il est facile de les décrire, soit par des ordonnées à un quart de cercle dont le rayon serait le petit demi-axe, soit par le moyen des foyers.

Lorsqu'on veut avoir les courbes des cerces, il vaut mieux décrire les quarts d'ellipse par des ordonnées aux axes tracés sur le plan, en se servant des divisions qui indiquent l'épaisseur des cerces, dont les points, relevés sur l'élévation, donneront ceux des courbes de chaque cerce, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 6.

Cette voussure, qui est à double courbure, n'est pas susceptible de développement sur lequel on puisse tracer le compartiment des bâtis.

Pour donner plus de régularité à ces compartimens,

il faut que les champs, sur la longueur, soient proportionnels à la largeur développée de la voussure à chaque section indiquée sur le plan, par une ligne droite tendante au même point que les embrâsemens, et en élévation par un quart d'ellipse. Ce champ peut être fixé à $\frac{1}{6}$, compris l'épaisseur.

Les cerces qui doivent former ces champs doivent être comprises dans des tranches parallèles, capables de former leur plus grande largeur. Le surplus peut se chantourner après que la surface est formée et que le champ est tracé dessus, d'après les profils formés sur chaque quart d'ellipse.

Les champs sur la largeur, le long des embrâsemens, sont déterminés par les diagonales tirées des extrémités de ceux sur la longueur, et par une ligne qui doit tendre au même point que les embrâsemens. S'il se trouve dans le milieu un panneau circulaire, les traverses qui le renferment seront prises entre deux lignes tendantes aussi au même point. Leur contour peut se tracer au compas, en établissant d'une manière quelconque, le centre répondant à un point de la surface où passe la section du milieu.

Ces surfaces sont beaucoup plus difficiles à former que celles à courbures simples, qui sont droites d'un sens. Pour former une douve comme celles dans lesquelles doivent se prendre les traverses cintrées, pour le panneau rond du milieu, il faut des calibres ou courbes différentes pour chaque côté, indépendamment de celle pour creuser le milieu de la surface qui change de courbures à chaque point. Voyez les figures 7, 8, 9, 10.

Les panneaux peuvent se former par douves, par joints horizontaux, ou par cerces parallèles au cintre de face;

c'est ce dernier moyen qui convient le mieux et qui présente le moins de difficultés.

Arrière-voussure dite de Saint-Antoine, même planche.

C'est une espèce de niche à base rectiligne, cintrée en élévation, produisant une surface courbe qui se raccorde avec les trois lignes droites de la base.

Le cintre de face peut être circulaire ou elliptique, de même que celui du profil passant par le milieu. Les courbes de ces deux cintres étant fixées, déterminent toutes les autres courbes qui doivent former la surface de cette voussure. On peut la considérer comme formée de courbes de même genre, parallèles au cintre de face qui divisent l'épaisseur de l'embrâsement en plusieurs tranches. Ces courbes peuvent être une suite de demi-ellipses dont on connaît les deux axes, l'un horizontal par les lignes qui expriment la division en plan de ces tranches, et l'autre vertical par les lignes de division tracées sur le profil.

On peut aussi considérer ces voussures comme composées de quarts d'ellipses verticales qui divisent leur diamètre ou largeur, et qui se raccordent par le haut avec le cintre de face, et par le bas avec la ligne droite de la base qui forme le fond. Cette manière est celle qui produit le meilleur effet.

Il faut remarquer que, lorsqu'on forme la surface de cette espèce de voussure par des demi-ellipses parallèles à la face, il n'y a que le quart d'ellipse du milieu qui puisse être régulier, la courbure des autres est déterminée par la rencontre des verticales élevées de la projection en plan

de chaque section, avec les demi-ellipses de face correspondantes.

Par la même raison, lorsque la voussure est formée par une suite de quarts d'ellipse qui la divisent dans le sens de sa longueur ou diamètre, les courbes des sections parallèles à la face ne sont pas des demi-ellipses régulières.

Les fig. 11, 12, 13, etc., font voir l'application de tout ce que nous venons de dire; on a indiqué sur chacune, par les mêmes lettres, les parties correspondantes.

Il est aisé de voir, qu'au moyen des sections sur la face et sur l'épaisseur, on peut trouver la courbe d'une section quelconque. La figure 11 indique les opérations pour une section oblique, et la figure 12 celles pour des sections horizontales.

Si l'on voulait former un bâtis en compartimens, avec un panneau circulaire dans le milieu, la pièce formant le champ de devant sera comprise dans la première cerce du cintre de face. La pièce du bas exigera une section horizontale pour avoir la courbure de l'arête supérieure. Quant aux traverses qui renferment le panneau circulaire, elles seront prises dans des douves comprises entre deux sections verticales. Lorsque leur surface sera creusée, on tracera leur contour en les plaçant comme elles sont indiquées sur l'élévation de face, et on les réunira provisoirement par une cerce placée à l'endroit où doit se trouver le centre des contours circulaires qu'elles doivent former, qu'on trace avec un compas, ainsi que la largeur des moulures, qu'on taillera par le moyen de profils faits perpendiculairement à la surface et à l'arc de cercle qu'elle doit former.

Lorsqu'on suppose le cercle formé par la pénétration

d'un cylindre, l'opération devient plus longue et plus difficile, et ne produit pas un aussi bon effet.

Comme on ne peut pas faire de développement des surfaces à double courbure, le compartiment des bâtis ne peut se dessiner, pour en bien juger, que sur la surface sur laquelle il doit être appliqué.

ARTICLE XV.

Des revêtemens de menuiserie pour les voûtes, figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, *planche CLXVI.*

Tout ce que nous avons dit sur les revêtemens des arrière-voussures peut s'appliquer à ceux des voûtes; il ne faut pour cela qu'avoir une idée juste de la formation de leur surface, et connaître la nature des courbes de leur cintre primitif.

Les surfaces des voûtes cylindriques, qui sont les plus simples, peuvent être considérées comme composées d'une suite de courbes formant leur cintre primitif, réunies par des lignes droites, parallèles aux côtés ou à l'axe; d'où il résulte : 1°. que toutes les sections qui coupent l'axe obliquement donnent des courbes qui sont un rallongement du cintre primitif, qui est la courbe perpendiculaire à l'axe; 2°. que toutes les sections faites parallèlement à l'axe donnent des lignes droites.

D'après ces résultats, on pourrait former les revêtemens d'une voûte de cette espèce, ou par des pièces droites placées selon la longueur, ou avec des courbes formant cintre, placées dans le sens de la largeur. Mais comme les bois

les plus secs sont sujets à diminuer de grosseur, il se ferait bientôt des désunions qui en rendraient l'aspect désagréable ; il est plus convenable de former ces revêtemens comme les lambris cintrés en plan, par compartimens de pièces, disposées les unes selon la longueur, et les autres selon la largeur, avec des panneaux. Ces revêtemens ne présentent pas, pour des voûtes en berceau, plus de difficulté que les lambris cintrés en plan, dont il a été ci-devant question.

Mais lorsqu'il s'agit de voûte d'arête ou d'arc de cloître, les courbes qui forment la réunion des parties de voûte dont elles se composent présentent un peu plus de difficultés, surtout lorsqu'on leur fait porter une portion de la surface des parties de voûtes qui se joignent : cependant on en vient à bout en opérant comme nous l'avons ci-devant expliqué pour les voûtes en charpente. Ainsi, pour les voûtes d'arête, après avoir tracé sur le plan des lignes parallèles de chaque côté de la projection en plan des arêtes représentées par les diagonales, on formera des cintres selon les courbes qui répondent à ces lignes. Ayant ensuite coupé les extrémités de ces cintres selon les angles du quadrilatère, retracera avec le même calibre, sur les faces verticales, une courbe à partir des parties retranchées, pour former ces angles. Cette courbe paraîtra plus élevée, parce qu'elle commencera à un point plus avancé que celle qui passe par le milieu. Divisant ensuite ces courbes par une même grandeur, on tirera des points de celle du milieu aux deux autres des lignes droites qui indiqueront la position de la règle pour former les parties de voûtes qui se réunissent à l'arête du milieu.

Les moulures que ces courbes doivent porter, ainsi

que les rainures et les mortaises pour les assemblages avec les panneaux et les traverses, se tracent avec des parallèles; ce qui se fait facilement en menuiserie, au moyen de trusquins préparés exprès; elles s'exécutent avec des rabots portant des jouées qui servent à guider l'outil, pour former des rainures ou des moulures.

Pour les voûtes en arc de cloître, l'opération ne diffère de celle que nous venons de détailler, qu'en ce que la surface préparatoire doit être faite d'après les courbes répondant aux parallèles qui indiquent, sur le plan, l'épaisseur de la pièce, et en ce que, pour former l'arête du milieu, qui doit former un angle rentrant, il faut creuser la pièce selon une courbe que l'on trace avec le même calibre sur une des faces extérieures, pour avoir les profondeurs de ce recreusement à chaque ligne droite tracée des courbes des extrémités à celle du milieu, comme on le voit par la figure 8.

Des lunettes.

Lorsqu'il s'agit d'une lunette qui pénètre une voûte, au-dessous de son sommet, l'arête qui se forme à la rencontre des surfaces, est une courbe à double courbure, dont l'exécution présente encore plus de difficultés que les précédentes; mais on en peut facilement venir à bout en opérant comme nous l'avons ci-devant expliqué pour de semblables lunettes en charpente.

On supposera d'abord un polygone inscrit dans la courbe, formé par des pièces droites et méplates, assemblées comme des bâtis de menuiserie. Cette disposi-

tion est indiquée par les figures 9, 10, 11, qui expriment le plan, l'élévation et le profil de cette lunette, avec la manière de trouver le rallongement des pièces et des courbes pour la former. On a indiqué dans ces figures les parties correspondantes, par les mêmes chiffres et les mêmes lettres, afin qu'on puisse suivre plus facilement l'opération.

Il est facile de concevoir que cette opération est applicable au développement de toutes sortes de lunettes, quelles que puissent être leur position et la courbure de leur cintre.

Lorsque la direction d'une lunette est oblique en plan ou en élévation, et qu'elle ne donne pas une courbure symétrique, il faut faire l'opération pour les deux côtés, tandis que pour les courbes symétriques une seule suffit, parce que les calibres faits pour un côté peuvent servir pour l'autre en les renversant.

Des voûtes sphériques et sphéroïdes, planche CLXVII.

Les compartimens à faire pour le revêtissement des voûtes sphériques, se composent de courbes qui sont toujours des arcs de cercle en plan et en élévation. Quant aux diminutions des largeurs, elles se trouvent par les principes de développement expliqués au quatrième livre, pages 195 et 298.

Dans les voûtes sphéroïdes, les courbes des pièces, formant compartiment, sont des parties d'ellipse qui peuvent se tracer par le moyen des ordonnées aux parties de cercle correspondantes, comme l'indique la figure 2.

Pour faciliter l'exécution des montans, il faut qu'ils

soient compris entre deux plans verticaux tendans au centre; d'ailleurs c'est la disposition qui convient le mieux pour la régularité des compartimens.

Lorsqu'on ne veut pas leur donner cette direction, ou qu'ils forment des compartimens cintrés, on cherchera la courbe qui répond à la direction, ou à la corde de la courbe de la partie cintrée, qu'on trace ensuite sur la douelle développée.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces revêtemens, parce qu'ils ne sont presque pas d'usage, étant sujets à se tourmenter et à se désunir : on leur préfère les stucs et les plâtres, même sur les voûtes en bois; ces derniers sont infiniment moins coûteux, et ne sont pas exposés aux mêmes accidens.

ARTICLE XVI.

Des escaliers en menuiserie. Planche CLXVIII.

Ce sont ordinairement de petits escaliers qu'on pratique dans l'intérieur des appartemens, pour servir de dégagement à des pièces situées l'une au-dessus de l'autre. Comme la place est souvent très-bornée, et que les points de départ et d'arrivée sont fixés, on est quelquefois obligé de leur donner des formes contournées, afin d'avoir de *l'échapée*, c'est-à-dire, la facilité de pouvoir monter et descendre, sans risquer de se heurter la tête contre le dessous des marches supérieures, lorsque l'escalier fait plus d'une révolution. Il y a un certain mérite à bien tourner un escalier commode dans un petit espace. Les figures 1

jusqu'à 10 représentent le plan et les détails d'un escalier de ce genre, tiré du Recueil de charpente de M. Krafft, et exécuté à Paris sous la direction de M. Mandar, architecte.

Cet escalier, dont le plan est circulaire, avec limons courbes, et noyau évidé, commence par une rampe droite, et, après avoir parcouru environ les trois quarts de la circonférence du cercle, il finit au moyen d'une partie de limon courbe, précisément au-dessus où il a commencé.

Chaque marche, excepté la première, est composée de deux planches assemblées à rainures et languette, dont une forme le dessus et l'autre le devant. Par les bouts, les marches sont fixées dans les limons par des entailles, et maintenues par des boulons à tête, avec vis et écrous.

On a placé, autour du plan, le développement des parties de limon qui y correspondent, avec leur débillardement et les entailles des marches. Chaque partie est indiquée par des lettres et des chiffres correspondans à ceux du plan, pour en faciliter l'intelligence.

Les fig. 1, 2, 3, 4 de la pl. CLXIX représentent les plans et détails d'un escalier en vis à jour sur un plan circulaire, avec marches profilées par les bouts, sans limon et isolé, en sorte qu'il n'est soutenu qu'au point où il commence et à celui où il finit. Chaque marche est en bois plein, avec coupe et recouvrement, comme les marches en pierre ou en charpente. Ces marches sont fortement réunies entre elles à leurs extrémités, par des doubles boulons à vis et écroux, qui les relient successivement avec les marches du bas et celles du haut, en les traversant obliquement sur la largeur, comme l'indiquent les figures 3 et 4.

Pour éviter les fentes et les gerçures auxquelles le bois plein est sujet, on pourrait faire la masse en charpente, revêtue de menuiserie. Par ce moyen, on réunirait la beauté avec la solidité.

Des marches en menuiserie.

Les marches de menuiserie se font d'une, de deux ou de trois planches. Dans les escaliers droits appelés échelle de meunier, et les marchepieds ou escaliers de bibliothéque, les marches ne sont formées que d'une seule planche, assemblée dans les limons à tenon et à queue d'aronde avec entaille, comme l'indiquent les figures 5, 6 et 7.

Pour les escaliers de dégagement, les marches sont ordinairement composées de deux planches. Celle qui forme le dessus a 18 à 20 lignes d'épaisseur; elle est ornée sur le devant d'un profil en forme d'astragale. Cette planche est assemblée dans des entailles pratiquées dans les limons, quelquefois avec des tenons, comme l'indique la figure 8. L'autre planche formant le devant, peut avoir 10 à 12 lignes d'épaisseur; elle s'assemble avec les dessus à rainures et languettes, figure 9.

Lorsqu'on veut former un plafond en dessous, on ajoute une troisième planche qui s'assemble aussi à rainures et languettes, dans les limons et entre elles. Pour éviter que les joints s'ouvrent d'une manière désagréable, par la retraite à laquelle tous les bois sont sujets, on peut les assembler à recouvrement, comme l'indique la figure 10.

Lorsque ces planches ou revêtemens se posent sous des marches, dont la largeur est plus grande à une des extrémités qu'à l'autre, comme dans les rampes tournantes,

le dessous doit former un gauche, produit par la différence de giron, indiqué par les figures 11 et 12.

Les rectangles ADEB, FHIG, fig. 12, indiquent l'épaisseur de la pièce de bois pour former le gauche qu'elle doit avoir, et le trapèze DFGE fig. 11, sa forme.

En faisant ce revêtement de deux pièces, leurs épaisseurs seront indiquées par les rectangles FONL et MRIP. Il est aisé de voir que l'épaisseur diminue, à mesure que la largeur devient moindre.

Lorsque le dessous des escaliers doit être décoré de compartimens avec panneaux, l'épaisseur des limons et les battans de rives, doivent être développés. Quant aux traverses et aux panneaux, les bois qui les forment doivent être élégis comme les dessous dont nous venons de parler.

Des limons droits et courbes, et des noyaux d'escaliers.

Les limons droits ne présentent pas de difficultés dans leur exécution, il ne s'agit que de tracer sur leurs surfaces intérieures le profil des marches pour y creuser les entailles qui doivent les recevoir. Il faut seulement remarquer que si les girons des marches ne sont pas égaux, le dessus du limon doit être une surface gauche déterminée par des lignes, selon le prolongement des marches qui doivent être de niveau, lorsque le limon est en place, et par conséquent former un angle droit avec les aplombs des devans des marches, fig. 14.

Des limons courbes.

Ces limons doivent être considérés comme des parties de cylindres creux dont la base est exprimée par la

projection en plan, qui sont coupées obliquement. Il faut remarquer, à ce sujet, qu'un cylindre creux, formé par des courbes concentriques, fig. 13, 14 et 15, étant coupé parallèlement à sa base par un plan droit, donne partout une épaisseur égale; mais si l'on suppose que ce plan devienne oblique, il est évident qu'il n'y aura que la ligne autour de laquelle le plan a tourné, qui ne change pas de grandeur, parce qu'elle reste parallèle au plan de projection; toutes les autres tendantes au centre de la courbe, en devenant obliques à ce plan, se rallongeront en raison de leur éloignement de la ligne, autour de laquelle le plan a tourné. C'est pour cette raison que les cerces rallongées, qui forment les calibres des parties obliques de cylindre, dans lesquelles les limons doivent être pris, ne sont pas d'égale largeur. Mais comme le dessus et le dessous de ces limons doivent être de niveau dans le sens des perpendiculaires à la courbe en plan, ou selon la direction du prolongement des marches, les élégissemens que l'on fait pour cela, redonnent aux surfaces de dessus et de dessous des limons une largeur partout égale, comme dans le plan de projection auquel ces lignes de niveau deviennent parallèles.

La figure 14 présente la manière de former les courbes rallongées pour un limon, dont la projection en plan est une ellipse. On a considéré ce limon comme une tranche oblique, d'un cylindre à base elliptique. Pour trouver la largeur et l'inclinaison de la bande dans laquelle le limon peut être compris, on a commencé par faire au-dessus du plan le profil des marches auprès du limon, par le moyen des hauteurs et des largeurs des marches élevées de dessus le plan. Ce profil fait, on a tracé une courbe qui passe

par les angles des marches. On a ensuite mené des parallèles à cette courbe, pour marquer l'arête du dessus et du dessous du limon du côté des marches.

Pour l'extérieur du limon, on a divisé son contour en même nombre de parties que l'intérieur, et, après avoir élevé des perpendiculaires de ces points de division, on les a réuni aux divisions intérieures par des horizontales tirées des points où ces dernières rencontrent les courbes du dessus et du dessous, et, par ces intersections, on a tracé les arêtes extérieures du limon.

Cette projection verticale étant faite, on a mené des points extrêmes des parallèles, pour indiquer la tranche de cylindre, dans laquelle le limon doit se trouver, en ménageant l'épaisseur du bois le plus possible.

Pour exécuter cette tranche oblique, il faut avoir un calibre qui donne les courbes de dessus et de dessous.

Pour former ce calibre, on a tracé des perpendiculaires de tous les points où les verticales élevées de dessus le plan rencontrent la ligne droite du dessus de la tranche oblique. On a porté ensuite sur ces lignes les grandeurs des ordonnées correspondantes tracées sur le plan, et par les points donnés, on a tracé les courbes rallongées qui doivent former les arêtes du calibre. On se servira de ce calibre pour tracer les pièces de bois dont on doit former le limon, en ne prenant que la partie qui peut être comprise dans chacune de ces pièces, et on les formera en abattant le bois en dehors des parties tracées. Les faces courbes étant faites, on tracera sur celle du côté des marches, leur profil pour les entailles qui doivent les recevoir et les lignes du dessus et du dessous qui doivent être tangentes aux angles des marches; les lignes tracées sur

le calibre serviront à marquer les points correspondans des lignes de niveau, pour former le dessus et le dessous. On a marqué sur le calibre, l'assemblage dont on peut se servir; c'est une espèce de trait de Jupiter, qui se serre avec une clef. Toutes ces opérations sont indiquées par les mêmes lettres et chiffres pour les points correspondans, figure 15.

REMARQUE.

Lorsque le plan de projection des limons d'un escalier est un cercle ou une ellipse, les courbes de rallongement sont toujours des ellipses dont il suffit de connaître les deux axes pour les tracer d'une manière exacte, en se servant de la méthode indiquée au 3e. livre, page 113.

Mais si la courbe en plan n'est ni une ellipse ni un cercle, son rallongement peut se faire par les ordonnées, comme nous venons de l'indiquer. Ce moyen est général pour toute sorte de rallongement, quelle que soit la courbe, en prenant pour ordonnées des lignes qui ne changent pas de grandeur dans la projection en plan, ou une projection faite exprès.

Nous allons terminer cette section par un exemple d'escalier tiré de Roubo, planche CLXIX, figure 16, dont les limons sont à double courbure et qui exigent une division de marches inégales, pour éviter les inconvéniens qui résulteraient d'une division de marches égales, tant pour l'usage que pour le bon effet.

La figure 18 réunit trois développemens, dont un pris au milieu produit une ligne droite, parce que les marches sont divisées également; les deux autres indiquent

les courbes qui doivent passer par les arêtes des marches, pour que le dessus du limon ne produise pas d'effet désagréable. Les points où les lignes de hauteur de marche rencontrent ces courbes, donneront, au moyen des perpendiculaires abaissées sur la base, les largeurs de marche auprès des limons, leur direction pour faire la projection verticale des limons rampans et les courbes rallongées des calibres de dessus, comme nous l'avons expliqué pour l'exemple précédent.

SECTION DEUXIÈME.

De l'emploi du fer dans les bâtimens.

ARTICLE PREMIER.

Des qualités des fers.

Le fer, considéré relativement à son usage dans l'art de bâtir, est la plus forte des matières qu'on emploie à la construction des édifices. Cette qualité le rend très-propre à relier et à entretenir leurs principales parties. On peut faire, par son moyen, des constructions plus légères, aussi solides et beaucoup moins coûteuses, parce qu'il supprime des efforts auxquels il faudrait opposer des masses considérables ou des matériaux d'une très-grande dimension, difficiles à transporter et à mettre en œuvre.

Il faut cependant n'employer les fers que lorsque la nécessité les rend indispensables, et leur donner les dispositions, les formes et les dimensions convenables.

On reproche au fer d'être sujet à se décomposer à l'air et à l'humidité; on cite à ce sujet des fers mal placés qui ont fait éclater les pierres, par l'effet de la rouille qui avait augmenté leur volume; cependant les fers trouvés sains dans les démolitions d'anciens édifices; ceux exposés à l'air depuis plusieurs siècles, tels que des vitraux d'églises gothiques, des grilles, des crampons de fer pour retenir les

tablettes d'appuis, les supports des reverbères des Tuileries, du cours la Reine, des quais, des ponts, etc., prouvent que ce métal, lorsqu'il est garanti de l'humidité, est aussi durable que les autres matières employées à la construction des édifices. J'ai vu des fers provenans d'anciennes constructions hydrauliques, qui étaient restés dans l'eau plus de trente ans, être encore en bon état et pas plus rouillés que les fers neufs qu'on achète dans les magasins. Le savant Muschenbrock a éprouvé que si on met un morceau de fer dans un vase rempli d'eau pure, bien bouché, il ne contracte pas de rouille.

On a remarqué que les fers dont les surfaces ne sont que forgées, sont moins susceptibles de s'oxider que ceux qui sont limés; ceux qui sont scellés dans du plâtre s'oxident beaucoup, ceux qui le sont dans du mortier ne s'oxident presque pas. C'est pour cette raison que les maçons en plâtre, se servent ordinairement, de truelles à lames de cuivre, ceux en mortier, de truelles de fer.

J'ai trouvé dans les démolitions de très-anciens édifices des fers tout-à-fait enveloppés de mortier, qui n'étaient que légèrement oxidés à leur superficie, tandis que d'autres placés dans des constructions en plâtre, beaucoup moins anciennes, étaient presque décomposés. Lorsqu'on emploie des fers comme crampons, dans l'intérieur des constructions, il faut, autant qu'il est possible, éviter de les sceller en plâtre et surtout en soufre, qui décompose le fer encore plus vite.

Lorsqu'on ne fait pas usage du plomb, il faut les sceller en ciment gras, après les avoir bien fixés avec des tuileaux ou des petites cales de fer. On doit surtout éviter de placer des fers dans des joints où les eaux pourraient péné-

trer, soit par quelque négligence dans la construction ou dans l'entretien. C'est à l'humidité que produisent ces eaux, qu'il faut attribuer la rouille ou oxidation des fers et la destruction des pierres, même dans les constructions où il n'entre pas de fers, ainsi qu'on l'a vu dans une des arcades du théâtre de l'Odéon qui traverse la rue de Corneille.

On peut empêcher les fers de s'oxider en les enduisant de matières grasses. Muschenbrock remarque qu'en Hollande (où il dit que les fers exposés à l'air s'oxident plus en huit jours, que vers le milieu de l'Allemagne en un an, à cause de l'humidité saline qui y règne), on vient à bout de préserver ces fers de la rouille, en les enduisant avec de la graisse de chapon. Le goudron, la poix, la cire, les vernis et les mastics, produisent le même effet; en France on fait usage de peinture à l'huile qu'on peut renouveler pour ceux qui sont exposés à l'humidité, car pour ceux qui en sont à l'abri, il n'en est pas besoin quoiqu'ils soient exposés à l'air.

Presque tous les fers employés pour entretenir les parties d'un édifice, agissent en tirant et résistent aux efforts d'écartement par leur ténacité ou l'adhérence des parties qui les composent. C'est cette propriété qui constitue la force du fer, et qu'on augmente beaucoup en le forgeant.

M. de Buffon assure que les bonnes ou mauvaises qualités du fer, dépendent moins de l'espèce de mine dont il est tiré, que de la manière dont il est fabriqué. D'après son opinion, les fers d'Angleterre, d'Allemagne ou de Suède, ne sont pas meilleurs que ceux de France; il dit avoir éprouvé qu'en chauffant peu et forgeant beaucoup, on donne au fer plus de nerf et qu'on approche davantage du

maximum de force dont on ne saurait trop recommander la recherche.

Il s'en faut de beaucoup que les fers ordinaires soient aussi bien fabriqués qu'ils pourraient l'être; pour qu'on puisse en juger, nous allons donner un précis de la manière dont ils se fabriquent.

Lorsque la mine est fondue, on la coule dans le sable, en gros lingots appelés *gueuses;* on leur donne la forme d'un prisme triangulaire, du poids de quinze à dix-huit cents livres et plus; on porte la gueuse à l'affinerie, où on la fait chauffer fondante; on en fait un nouveau lingot qu'on nomme *loupe*, qu'on passe sous le gros marteau; on la bat d'abord à petits coups, pour rapprocher et souder les parties les unes avec les autres.

Quand cette loupe est *ressuée*, c'est-à-dire, lorsqu'en la frappant à petits coups on en fait sortir le *laitier* ou parties hétérogènes, disséminées entre les parties de fer, on la frappe plus fort pour l'étirer en grosses barres d'environ trois pieds de longueur : on les fait ensuite repasser à la forge pour leur donner différentes formes, à la demande des marchands. C'est ainsi qu'on fabrique tous les fers communs; on ne leur donne que deux ou tout au plus trois volées de marteau, aussi n'ont-ils pas, à beaucoup près, la ténacité qu'ils pourraient acquérir, si on les travaillait moins précipitamment.

On peut connaître la qualité du fer en le rompant; si la cassure paraît brillante et formée de grandes paillettes, c'est une marque que c'est un fer aigre qui sera dur à la lime et difficile à forger, tant à chaud qu'à froid; il sera tendre à la chauffe et se brûlera aisément; quelquefois même, au lieu de s'adoucir sous le marteau, il devient plus aigre. Ce

fer est de mauvaise qualité pour presque toutes sortes d'ouvrages; seulement à cause de sa dureté il pourrait être employé comme la fonte à des grosses pièces qui n'ont à résister qu'à des frottemens.

Si la rupture d'une barre de fer paraît moins brillante et moins blanche et que le grain soit moins gros, le fer ne sera pas aussi aigre, il se chauffera et se forgera mieux : les maréchaux estiment cette espèce de fer à cause de sa fermeté, et les serruriers en font usage pour les ouvrages qui ne doivent pas être limés, parce qu'il se trouve des grains sur lesquels le foret ni la lime ne peuvent pas mordre.

Si la cassure est un peu noire et inégale, y ayant des flocons de *nerfs* qui se déchirent comme lorsqu'on rompt du plomb, ce que quelques ouvriers appellent *de la chair*, c'est l'indice d'un fer très-doux, qui se travaille aisément à chaud et à froid, sous le marteau et sous la lime; mais il est presque toujours difficile à polir et rarement il prend un beau lustre.

Il se trouve des fers qui sont, pour ainsi dire, composés des deux espèces précédentes; leur rupture présente des endroits blancs et d'autres noirs. Quand on emploie ces fers tels qu'ils viennent de chez le marchand, ils sont pour l'ordinaire pailleux et de dureté inégale, mais lorsqu'ils sont corroyés ils sont excellens pour la forge et pour la lime; ils sont fermes sans être cassans et se polissent aisément, mais ils sont quelquefois cendreux, défaut auquel sont exposés les fers doux. Ces fers pourraient avoir, en sortant des grosses forges, la bonne qualité qu'on leur procure, si on les y travaillait avec plus de soin.

Il y a encore des fers qui ont le grain fin et qui n'ont

point de chair, cependant ils sont assez plians et ne se rompent pas aisément; ils prennent un beau poli, mais ils sont durs à la lime et bouillans à la forge. Ce sont des fers acérains qui prennent la trempe et ne sont pas propres pour des ouvrages qui doivent soutenir de grands efforts. Quand ces fers doivent être limés, il faut les laisser refroidir doucement pour qu'ils ne se trempent point. On doit les ménager à la forge, presque comme si on travaillait de l'acier.

Les fers que l'on nomme *rouverains*, sont assez plians et malléables à froid, mais il les faut ménager au feu et sous le marteau. Quand on les forge ils répandent une odeur de soufre et il en sort des étincelles fort brillantes. Lorsqu'on les chauffe presque à blanc et qu'on les frappe rudement; ils sont sujets à se dépecer sous le marteau, à se rompre ou du moins à devenir pailleux.

Les fers d'Espagne et ceux qu'on fait avec de vieilles mitrailles corroyées, sont presque tous rouverains; ils sont bons, mais il faut les travailler avec ménagement.

On voit par cette énumération des principales qualités du fer, que le meilleur, pour le cas où il doit agir en tirant, est celui qui, étant rompu, paraît tout nerf; et que celui dont la cassure est brillante, à paillettes ou gros grains ne saurait convenir pour cet usage : il tient de la nature de la fonte, et de la gueuse dont il provient, en ce qu'il n'a pas été assez purgé de son laitier.

Les qualités des autres fers tiennent plus ou moins de ces deux extrêmes. Le fer vaut mieux, à raison de ce que son grain est plus fin. Le meilleur est celui dont la cassure paraît arrachée et ne présente pas de grains, c'est-à-dire, qui est tout *chair* ou tout *nerf;* on a trouvé

que la force de ce dernier est au delà de quinze fois plus grande que celle du fer à paillettes ou à gros grains.

On convertit le grain du fer en nerf en le forgeant; mais comme il résiste par sa fermeté en raison de son épaisseur, il en résulte que les fers forgés ne sont jamais homogènes; souvent les surfaces frappées par le marteau sont tout nerf, tandis que le milieu est encore à gros grains. C'est pour cette raison que les fers méplats sont plus forts que les fers carrés; nous allons rapporter quelques expériences qui confirment ce que nous venons de dire.

ARTICLE II.

DE LA FORCE DES FERS.

Expériences faites par M. de Buffon.

M. DE BUFFON ayant fait faire, avec du fer à gros grain provenant de la forge d'Aisy sous Rougemont, une boucle dont les montans avaient 18 lignes $\frac{2}{3}$ de grosseur, formant une surface de 348 lignes $\frac{4}{9}$ pour chaque montant, et 697 lignes pour les deux; cette boucle, qui avait 10 pouces de largeur sur 10 pouces de hauteur, s'est cassée presque au milieu de la hauteur des branches, sous un poids de 28 milliers, ce qui ne fait qu'environ 40 livres pour chaque ligne carrée de grosseur. Cependant, ayant éprouvé deux fils de fer rond d'une ligne de diamètre, le premier supporta, avant de se rompre, 482 livres, et l'autre ne se rompit que sous une charge de 495 livres, ce qui donnerait 488 livres pour poids moyen. Si au lieu d'un

fil de fer rond on eût pris une verge carrée d'une ligne de grosseur de ce même fer, qui était tout nerf, elle aurait porté, pour poids moyen, 621 livres, en supposant sa force en raison de sa superficie. En comparant le résultat de ces expériences, on est étonné de voir que le fer tout nerf soit plus de quinze fois plus fort que celui à gros grain.

Une autre boucle de même fer et de même grandeur que la précédente, dont les montans avaient 18 lignes $\frac{2}{3}$ de grosseur, se rompit aussi dans le milieu des montans, sous un poids de 28450, qui ne donne qu'un peu plus de 40 liv., $\frac{8}{10}$ par ligne carrée.

Une autre boucle de même fer, dont la grosseur des montans était de 16 lignes $\frac{3}{4}$, s'est rompue sous un poids de 24600, ce qui donne un peu moins de 44 liv., $\frac{74}{100}$ par ligne carrée.

Une quatrième boucle de même fer, dont la grosseur des montans était de 18 lignes sur 9, a porté, avant de se rompre, 17300 livres, ce qui fait un peu plus de 53 liv., $\frac{4}{10}$ par ligne carrée.

Le résultat de ces expériences, qui ne donne que 44 livres de force moyenne pour chaque ligne carrée de grosseur, est d'autant plus étonnant, qu'il n'est pas la moitié de ce qu'auraient porté des montans de bois de chêne de même grosseur. Il faut croire que le fer employé à ces boucles fut bien mauvais ou bien mal forgé, pour avoir porté si peu.

Expériences faites par M. Soufflot sur des tringles de 24 pouces de longueur.

Avant de faire ces expériences, M. Soufflot, qui avait connaissance de celles faites par M. de Buffon, voulut le consulter sur le moyen de les faire d'une manière utile à la science et à l'art. Dans les explications que lui donna M. de Buffon, il convint qu'il n'était pas content des expériences qu'il avait faites avec des boucles; il engagea M. Soufflot à n'employer, dans les expériences qu'il se proposait de faire, qu'une tige de fer terminée par des talons. D'après cet avis, M. Soufflot fit ajuster à l'extrémité supérieure de sa machine à écraser les pierres, une pièce de fer disposée pour recevoir un des bouts des tringles de fer à éprouver, l'autre bout était arrêté au levier, au moyen duquel on parvenait à rompre la tringle en chargeant un plateau de balance, suspendu à l'extrémité de ce lévier, qui agissait comme un lévier de la troisième espèce, avec un effort égal à quatorze fois le poids.

Toutes les tringles à éprouver avaient un peu plus de deux pieds de longueur; elles étaient carrées et terminées à leurs extrémités par des espèces de talons qui avaient trois fois plus d'épaisseur que la tringle, et qui servaient à fixer leurs extrémités dans des entailles pratiquées dans le levier et dans la pièce du haut.

Lorsque tout fut préparé, M. Soufflot me chargea de rendre compte à M. de Buffon des dispositions que nous avions faites; il les approuva. Il assista aux premières expériences qui furent faites; il examina les cassures des tringles et expliqua les raisons de la dif-

férence de force des fers éprouvés, qui étaient tout nerf ou tout grain plus au moins gros ou mélangés; il répéta ce qu'il avait déjà dit à M. Soufflot, sur les expériences faites avec les boucles de fer ci-devant détaillées, qui pouvaient avoir été mal forgées; il ajouta que dans cette opération, lorsque les fers ont beaucoup d'épaisseur, il arrive quelquefois qu'en forgeant les surfaces qui s'étendent sous le marteau, on diminue l'adhérence des parties du milieu sur lesquelles le marteau a moins d'action: c'est pourquoi, disait-il, il faut toujours préférer les fers méplats aux fers carrés.

Voici le résultat des expériences qui furent faites, et dont je fus chargé de rédiger le rapport.

La première tringle éprouvée avait, de grosseur, 2 lig. $\frac{2}{3}$ sur 2 lignes $\frac{1}{3}$, produisant 6 lignes de superficie; elle se rompit par le haut, à 2 pouces 7 lignes du talon, après s'être allongée de près d'un pouce, sous un poids de 3542 livres, ce qui fait 590 livres $\frac{1}{3}$, par ligne carrée de grosseur.

La rupture paraissait arrachée, et le fer étoit tout nerf.

Une seconde tringle, dont la grosseur était de 2 lignes $\frac{2}{3}$ sur 2 lignes, produisant 5 lignes $\frac{1}{3}$ de superficie, se rompit environ à moitié de sa longueur, sous un poids de 3374 livres, ce qui fait 632 livres 10 onces par ligne carrée.

La rupture était comme celle de la tringle précédente.

Une troisième tringle, dont la grosseur était de 6 lignes sur 2 lignes $\frac{1}{3}$, produisant 15 lignes de superficie, se rompit à 8 pouces $\frac{1}{3}$ du talon du haut, sous un poids de 6157, ce qui fait 410 $\frac{7}{3}$ par lignes carrée. La cassure n'était pas tout nerf, il paraissait un peu de grain.

Une quatrième tringle, dont la moindre grosseur était de 5 lignes sur 2 lignes $\frac{1}{3}$, produisant une surface de 12 lig. $\frac{1}{3}$,

se rompit auprès du talon du haut, sous un poids de 4874; la cassure ne présentait que les deux tiers environ de nerf, et le surplus était un grain moyennement gros; sa force réduite était 390 livres par ligne carrée.

Une cinquième tringle de 5 lignes $\frac{1}{2}$ sur 3, produisant 16 lignes $\frac{1}{2}$ de surface de grosseur, se rompit sous un poids de 5524. La cassure était moitié nerf; sa force réduite était de 334 livres $\frac{3}{4}$.

La sixième tringle de 6 lignes sur 3, produisant 18 lignes de superficie, se rompit au tiers de sa longueur, sous un poids de 15600; la cassure était tout nerf, elle s'était allongée de 10 lignes $\frac{1}{2}$; sa force était de 866 livres $\frac{2}{3}$ par ligne carrée.

La septième tringle de même grosseur que la précédente se rompit sous un poids de 7800, ce qui fait 433 livres $\frac{1}{3}$ par ligne carrée; la cassure présentait environ le tiers de sa superficie de fer en grain.

La huitième tringle de même grosseur fut rompue sous un poids de 5857, ce qui fait 325; sa cassure présentait plus de la moitié de fer en grain.

La neuvième tringle de 3 lignes sur 2, fut rompue sous un poids de 3635, ce qui fait 606 livres par ligne carrée; sa cassure n'était pas tout nerf.

La dixième tringle ronde de trois lignes de diamètre, produisant une superficie de 7 lignes $\frac{1}{4}$, se rompit sous un poids de 6600, après s'être allongée de 8 lignes, ce qui fait 933 livres $\frac{1}{3}$ par ligne carrée, la cassure était tout nerf.

Nous avons essayé plusieurs fois de faire rompre des fers de carillon de 5 à 7 lignes de grosseur, en les chargeant de 10 à 12 milliers, sans avoir pu y parvenir. Il

y a de ces fers qui sont restés huit jours en expérience : on les a fait balancer plusieurs fois avec le fardeau qu'ils soutenaient, sans qu'il en soit rien résulté. Quelques-uns de ces fers, qui avaient été soudés, après avoir été coupés exprès dans le milieu de leur longueur, ont également résisté. C'est d'après toutes ces tentatives que, dans la suite, j'imaginai de faire des expériences sur des fers tout grain; je choisis des tringles carrées de 4 lignes de grosseur; c'est le plus petit échantillon de fer qui se trouve chez les marchands; j'ai été long-temps avant de pouvoir me procurer de ces fers, dont la cassure fût à gros grains, moyens et fins.

Afin d'avoir plusieurs expériences sur une même qualité, je fis couper, dans une même barre, trois tringles de 14 po. de longueur compris talons, sur 4 lignes de grosseur, produisant 16 lignes de superficie. Les talons avoient 6 lig. de haut sur 6 lignes de grosseur.

Le résultat moyen des trois expériences faites sur le fer à gros grain, donna 2991 livres, répondant à 187 liv. par ligne carrée.

Les expériences faites sur trois tringles dont le grain était moyen, donnèrent pour résultat moyen, 3980 liv., ce qui fait 249 livres par ligne carrée.

Le résultat moyen des trois expériences sur les tringles faites avec du fer à grain fin, fut 5840 livres, qui donna 365 livres par ligne carrée.

Ces tringles ne présentaient, à leur cassure, que des grains sans nerf; trois tringles prises dans des fers plus gros dont le grain était moyen, forgées de manière que la cassure présentait moitié nerf, ont donné pour résultat moyen 7200, ce qui fait 450 livres par ligne carrée.

Trois autres tringles de même fer plus fortement forgées, en sorte que la cassure était tout nerf, ont soutenu un effort moyen de 10320, ce qui fait 645 livres par ligne carrée.

Les expériences faites sur du fer à gros grain réduit à moitié nerf, ont donné pour résultat moyen, 5840, ce qui fait 365 par ligne carrée.

Autres expériences faites par Muschembroch sur de petites tringles de fer forgées et à base carrée, d'un dixième de pouce du pied Rhenan, avec les résultats en poids de Troye, dont on fait usage à Leyde, qui ne diffère de la livre de Paris que de 4 grains, avec la réduction pour la force d'une ligne carrée, évaluée en poids de Paris :

	Poids portés.	Poids moyens.	Poids calculés pour une ligne carrée.	
Deux tringles de fer d'Espagne, tiré des environs de Ronda, dans l'Andalousie. La première a porté. .	800	800	600	600
La seconde.	800		600	
Quatre autres tringles en fer de Suède, la première s'est rompue sous un poids de	870	762	652	572
La deuxième	760		570	
La troisième	750		562	
La quatrième	670		502	
Trois autres en fer d'Oosemont.				
La première a porté	750	700	562	525
La deuxième	680		510	
La troisième	670		502	
Deux autres en fer d'Allemagne marqué B R, la première	910	755	682	566
La seconde	600		450	
Trois autres faites avec du fer d'Allemagne marqué L, la première . .	840	740	630	553
La deuxième	700		520	
La troisième	680		510	

Trois autres en fer ordinaire d'Allemagne, la première	690	676	517	507
La deuxième	670		502	
La troisième	670		502	
Trois autres en fer de Liége, la première a porté avant de se rompre .	810	724	607	542
La deuxième	750		562	
La troisième	610		457	

Il est à propos de remarquer que les deux expériences faites sur le fer d'Allemaagne marqué B R, indiquent la plus grande et la moindre force de sept espèces de fer éprouvés; comme Muschembrock ne parle pas des cassures, il faut croire que celle de la verge qui a porté le plus grand poids était tout nerf, et celle de l'autre tout grain, ou que cette dernière avait quelque défaut. En prenant les résultats moyens, on trouve que c'est le fer d'Espagne qui a le plus porté, et que sa force pour une ligne carrée serait de 600.

Au second rang, c'est le fer de Suède, dont la force est de 572.

Au troisième, le fer d'Allemague marqué B R, qui donne 566.

Au quatrième, le fer d'Allemagne marqué L, qui donne 553.

Au cinquième, le fer de Liége, qui donne 542.

Au sixième, le fer dit d'Oosemont, 525.

Au septième, le fer ordinaire d'Allemagne, 507.

Le résultat moyen entre ces expressions, serait 552; mais si l'on prend celui entre toutes les verges éprouvées, on trouve 545.

Le résultat moyen des expériences faites par M. Soufflot donne 553; mais si l'on ne comprend pas la sixième ni

la neuvième expériences qui ont donné des résultats extrêmement forts, on ne trouve que 465.

Le résultat moyen des expériences que j'ai faites donne 267 pour les fers dont la cassure ne présente que du grain plus ou moins fin, 632 pour le fer tout nerf, et 449 pour la force moyenne entre toutes ces expériences. Si on compare ces trois résultats généraux, on trouvera 486 liv. par ligne carrée.

On peut conclure de toutes ces expériences, 1°. que les fers qui ne sont pas forgés ont plus de force en raison de ce que leur grain est plus fin; 2. que celui à paillette ou à gros grain n'a que la moitié de la force de celui qui a le grain fin; 3°. que ces fers acquièrent plus de force en les forgeant; 4°. que les fers résistent par leur fermeté à l'effort du marteau, en raison de leur épaisseur; 5°. que cette force va en diminuant depuis la surface jusqu'au centre, par la raison que la face qui pose sur l'enclume, lorsqu'on le forge, reçoit, par la réaction, une impression aussi forte que celle frappée; d'où il résulte que, dans les fers forgés, la force doit augmenter en raison directe de leur surface et en raison inverse de leur épaisseur.

Le fer forgé le plus fort est celui qui est réduit tout en nerf, c'est-à-dire, celui dont la cassure paraît arrachée. La force du fer tout nerf est quatre fois plus grande que celle du fer à paillette ou à gros grain; trois fois plus grande que celle du fer dont le grain est moyen, et deux fois plus grande que celle du fer dont le grain est fin.

J'ai observé dans une grande quantité d'échantillons de fers de toutes espèces, et dans ceux que j'ai fait forger

à plusieurs fois, que l'effort du marteau pour réduire le fer en nerf, ne pénètre pas, dans les gros fers carrés, plus d'une demi-ligne, et dans les petits ou les fers méplats, à plus de deux lignes; de sorte que les fers tout nerf les mieux forgés ne passent pas trois à quatre lignes d'épaisseur; les plus forts sont ceux dont la superficie de grosseur est égale au pourtour. Le calcul, d'accord avec l'expérience, paraît indiquer que l'épaisseur des fers tout nerf ne doit pas passer 4 lignes; ainsi, nommant x la largeur du fer et y son épaisseur, le maximum de la force sera lorsqu'on aura $2x + 2y = xy$, qui est une équation indéterminée, qu'on ne peut résoudre qu'en donnant une valeur à l'une des deux inconnues. Supposons $x = 4$, l'équation ou formule générale donnera $8 + 2y = 4y$, qui devient $8 = 4y - 2y$, ensuite $8 = 2y$, et enfin $y = \frac{8}{2} = 4$. Par le moyen de la même formule on trouvera que x étant 5, y devient $= 3\frac{1}{3}$.

x étant 6, $y = 3$
pour 7, $y = 2\frac{4}{5}$
pour 8, $y = 2\frac{2}{3}$
pour 9, $y = 2\frac{4}{5}$
pour 10, $y = 2\frac{2}{10}$

Il est bon de remarquer que, quelque soit la largeur du fer, son épaisseur se trouve toujours au-dessus de 2 lig. et qu'elle en approche toujours sans pouvoir y atteindre; ainsi, pour une largeur de 6 pouces ou 72 lignes, la formule donne 2 lignes $\frac{2}{35}$.

Pour un pied de largeur ou 144 lignes, on trouve 2 lig. $\frac{2}{71}$.

Les Italiens, qui ont reconnu cette propriété des fers minces, s'en servent avec succès pour réunir et fortifier

les bois extrêmement légers dont ils forment des échafauds, qui étonnent par leur hardiesse et leur solidité.

Observation sur la manière d'évaluer la force des fers.

Considérant que les barres de fer forgé acquièrent une augmentation de force en raison directe de leur périmètre ou pourtour de grosseur, et en raison inverse de leur épaisseur, j'ai cherché à trouver, d'après ces principes et les résultats moyens d'un grand nombre d'expériences, une règle pour évaluer la force des fers qui agissent en tirant; de toutes les combinaisons que j'ai essayées, celle qui m'a paru la plus simple et la plus facile, et qui s'accorde le mieux avec les résultats de l'expérience, consiste à multiplier la surface de la grosseur de la barre, exprimée en ligne carrée, plus, son contour ou périmètre par 240, qui est la force moyenne des fers tout grain, ainsi, désignant la surface de grosseur par s, le périmètre de sa grosseur par p et la force moyenne 240 par f; on trouvera, pour l'expression générale de la force des fers qui agissent en tirant, $s + p \times f$.

Application.

Une des tringles de fer éprouvée par M. Soufflot, avait de grosseur 2 lignes $\frac{2}{3}$ sur 2 lignes $\frac{1}{4}$, produisant une superficie de 6 lignes carrées et un périmètre de 9 lig. $\frac{1}{6}$, ce qui donne pour sa force, d'après la formule, $6 + 9\frac{1}{6} \times 240 = 3640$. L'expérience donne 3542.

La même formule appliquée à une autre tringle, dont la grosseur était de 2 lignes $\frac{2}{3}$ sur 2 lignes, produisant

une surface de 5 lignes $\frac{1}{3}$, et un périmètre de 9 lignes $\frac{1}{4}$, donne $5\frac{1}{3} + 9\frac{1}{4} \times 240 = 3440$. L'expérience donne 3374.

Le résultat moyen de trois expériences faites sur des tringles dont la grosseur était de 6 lignes sur trois, a donné 8945; l'application de la formule donne $18 + 18 \times 240 = 8640$. Nous croyons inutile d'ajouter un plus grand nombre d'exemples pour prouver l'exactitude de cette règle.

De la force des barres de fer posées horizontalement comme des linteaux ou des solives.

La table ci-après présente les résultats de plusieurs expériences faites sur des barres de fer forgé, suspendnes horizontalement par les deux bouts, afin de parvenir à connaître de combien elles plient par leur propre poids, et en raison des charges qu'on peut ajouter dans le milieu.

Cette table est divisée en seize colonnes.

La première indique la longueur en pieds, pouces et lignes de chacune des barres éprouvées.

La seconde et la troisième indiquent leur largeur et leur épaisseur en lignes.

La quatrième leurs poids en livres.

La cinquième et la sixième expriment combien de fois leur largeur et leur épaisseur sont contenues dans leur longueur.

La septième et la huitième indiquent de combien chaque barre a plié, étant suspendue par le milieu, posée de champ ou de plat.

La neuvième et la dixième indiquent les flèches de

courbure des mêmes barres suspendues par leurs extrémités, de champ ou de plat.

Les onzième, douzième, treizième, quatorzième, quinzième et seizième, indiquent de combien ces barres, posées de champ et de plat, ont plié en ajoutant au milieu un poids de 12 livres, de 25 livres, et de 50 livres.

Expériences sur la roideur des barres de fer placées horizontalement sur deux appuis, faites en décembre 1808; la quantité dont ces barres plient dans le milieu est exprimée en lignes.

	Longueur.		Largeur	Épaiss.	Poids.	Rapport de la longueur à la		Suspendue dans le milieu, de		Suspendue des 2 bouts, de		De champ, chargée d'un poids de			De plat, chargée du poids de		
						largeur.	épaiss.	champ.	plat.	champ.	plat.	12 liv.	25 liv.	50 liv.	12 liv.	25 liv.	50 liv.
	p.	po.	lig.	lig.	liv.												
A	11	3	28	7	57	58	231	$0\frac{3}{4}$	13	$1\frac{1}{4}$	$19\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3	$4\frac{1}{2}$	$27\frac{1}{2}$	34	42
B	9	10	$25\frac{1}{2}$	9	57	56	157	$0\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	$0\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$	12	18
C	9	2	31	9	62	43	146	$0\frac{1}{3}$	4	$0\frac{1}{3}$	$6\frac{1}{2}$	$0\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	5	$8\frac{1}{2}$	12
D	8	$3\frac{1}{2}$	25	8	$44\frac{3}{4}$	48	149	$0\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$0\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{6}$	$0\frac{1}{4}$	$0\frac{3}{4}$	1	$5\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	11
E	13	3	$16\frac{1}{2}$	9	49	116	212	$4\frac{1}{5}$	$14\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$24\frac{1}{2}$	8	10	15	34	45	65
F	9	$10\frac{1}{2}$	21	20	104	68	71	$1\frac{5}{6}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{2}{3}$	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$
G	15	$4\frac{1}{2}$	12	12	59	184	18	$16\frac{1}{2}$	$16\frac{1}{2}$	23	23	31	39	55	31	39	55
H	13	$10\frac{5}{12}$	14	14	75	14	142	8	8	10	10	14	16	$25\frac{1}{4}$	14	16	$25\frac{3}{4}$

OBSERVATIONS.

Il est bon de remarquer que deux appuis placés aux extrémités d'une barre de fer horizontale peuvent bien la soutenir en portant chacun la moitié de son poids; mais qu'ils ne peuvent pas l'empêcher de plier au milieu; il faut pour cela une troisième puissance placée à ce point.

L'effort de cette puissance doit être égal à la moitié du poids de la barre, parce qu'il faut la considérer comme coupée en deux, et que les bouts du milieu soient soutenus par cette puissance. Ainsi, désignant le poids de la barre par p, sa longueur par l, en prenant son épaisseur verticale pour unité, l'expression de l'effort qui empêche la barre de plier serait $\frac{1}{2}\ p \times \frac{1}{2}\ l$ qui se réduit a $\frac{p\ l}{4}$; c'est-à-dire au quart du produit du poids de la barre par sa longueur l : ainsi la barre indiquée dans la table précédente par A étant suspendue horizontalement par les deux bouts et posée de champ, c'est-à-dire la largeur étant d'aplomb, courbe dans le milieu d'une ligne $\frac{1}{4}$.

Dans cette position, sa longueur exprimée par le nombre de fois qu'elle contient sa largeur verticale est de 58, le poids étant de 57 livres, la formule $\frac{p\ l}{4}$ donnera $\frac{57 + 58}{4}$ qui se réduit à 856 $\frac{1}{2}$. Divisant ce résultat par 1 $\frac{1}{4}$ qui indique de combien la barre plie, on trouvera la fermeté de la barre $= 661\ \frac{1}{3}$, qui répond à l'effort d'une barre de même grossenr placée de même, dont la longueur serait égale à 52 fois son épaisseur verticale, qui pèserait un peu moins de 51 livres et qui donnerait $\frac{52 + 51}{4} = 663$ au lieu de 661 $\frac{1}{3}$. L'expérience justifie ce résultat, car une barre de cette longueur ne plie point.

La même barre suspendue de plat plie de 19 lignes $\frac{1}{2}$, son épaisseur, qui n'est que de 7 lignes, donne 231 pour la valeur de l. Le poids de la barre étant toujours de 57 livres, la formule $\frac{p\ l}{4}$ donne $\frac{57 + 231}{4}$ qui se réduit à 3291 $\frac{3}{4}$. Divisant ce résultat par 19 $\frac{1}{2}$, on trouvera pour l'expression de la roideur de la barre 168 $\frac{3}{4}$, qui répond aussi à une

longueur égale à 52 fois l'épaisseur, et qui pèserait un peu moins de 13 livres, ce qui donne $\frac{52 + 13}{4} = 169$ L'expérience justifie encore ce résultat : une barre de 28 lignes de largeur sur 7 lignes d'épaisseur posée de plat ne commence à plier que lorsqu'elle a plus de 30 pouces $\frac{1}{3}$, c'est-à-dire 52 fois son épaisseur verticale ; son poids est de 12 livres 15 onces.

Autre observation.

Il faut remarquer que quand une barre plie sans charge, la partie de son poids qui la fait courber se trouve partagée dans toute sa longueur, tandis que si l'on ajoute un poids au milieu, il agit à ce point avec toute son énergie et avec le levier le plus grand, en sorte que son effort est égal à celui d'un poids double qui serait réparti également dans toute la longueur de la barre; c'est pourquoi, dans cette circonstance, si l'on désigne par q le poids ajouté au milieu de la barre, on doit avoir $\frac{1}{2} p + q \times \frac{1}{2} l$, ou $p + 2 q + \frac{l}{4}$. Ainsi, ayant ajouté au milieu de la barre précédente, posée de plat, un poids de 12 livres, la formule donnera $57 + 24 \times \frac{231}{4}$, qui se réduit, après avoir fait les calculs indiqués, à 4678. Ce résultat divisé par l'expression de la fermeté de cette barre, que nous avons trouvée de 169, donnera pour la flèche de courbure 27 lignes $\frac{115}{169}$ à peu près $\frac{2}{3}$, au lieu de 27 lignes $\frac{1}{2}$ que donne l'expérience.

La même barre chargée d'un poids de 25 livres courbe de 36 lignes ; en y appliquant la formule on trouve $57 + 50 \times \frac{231}{4}$ qui se réduit à $6179 \frac{1}{4}$. Ce résultat divisé par 169, donne pour la flèche de courbure 36 lignes $\frac{95}{169}$. La même

chargée d'un poids de 50 livres courbe de 52 lignes, la formule aurait donné 35 $\frac{11}{17}$.

En faisant ces expériences, nous avons observé que la courbe formée par une barre de bois ou de fer qui plie par son propre poids, est une espèce de chaînette, et que cette courbe change lorsqu'on ajoute un poids au milieu; elle devient d'abord parabolique, et à mesure que les branches de la courbe se redressent, les flèches de courbure augmentent en plus forte raison que les poids.

La courbure se maintient mieux dans les fers doux que dans ceux qui sont roides; ces derniers se rompent dès que le rallongement de la partie convexe, opposée au pli qui se forme à l'endroit où la charge est suspendue, surpasse l'extension dont le fer est susceptible, fig. 1, pl. CLXIX *bis*.

En rapprochant les cordes qui tenaient une barre de fer suspendue; à mesure qu'elle pliait par l'augmentation de la charge qu'on lui faisait soutenir au milieu, je suis parvenu à faire toucher les deux bouts sans qu'elle se soit rompue, comme on le voit figure 2, la longueur de cette barre avait 250 fois son épaisseur.

Il résulte de cette expérience, qu'une barre de fer courbée, figure 3, peut porter un poids presque aussi fort que celui qu'il faudrait pour la rompre en la tirant par les deux bouts.

Si au lieu d'une barre courbée, on considère deux barres formant un angle, figure 4, arrêtées par le haut et réunies par le bas au moyen d'un œil et d'un crochet, et qu'on suspende un poids à l'angle qu'elles forment à leur réunion, il faudrait, pour faire équilibre à la force de ces barres, agissant comme une corde ou une chaîne, un effort qui fût comme la diagonale C D est à la somme des côtés A D, D B.

Pour la barre courbée, figure 3, on trouve que la force doit être au poids comme le développement de la courbe A D B est au double de la flèche C D.

Ainsi, nommant la force absolue f
le développement du contour b
le poids p
la flèche d

l'expression pour la barre courbe sera, pour la force absolue, $f = \frac{p\,b}{2\,d}$, et pour le poids $p = \frac{2\,df}{b}$.

Si ce sont deux barres qui forment ensemble un angle fig. 4, b exprimera la somme de leur longueur.

Si c'est une barre droite, 2 d exprimera le double de son épaisseur, en sorte que, prenant d pour unité, on aura pour la barre indiquée dans la table par A,
$\frac{63840 \times 2}{231} = 552{,}73$ pour la valeur d'un poids placé au milieu, faisant équilibre à la force de la barre.

En faisant usage de la formule $\frac{pl}{4}$, on aurait trouvé, en prenant pour la valeur de p, le double, de 552,73 la force de cette barre $= \frac{552{,}73 \times 2 \times 231}{4}$, qui se réduit à 63840, ce qui prouve l'accord de ces deux formules, qui se rapportent aussi avec l'expérience; car cette barre a fini par se rompre sous un poids de 560.

En considérant les résultats des expériences faites sur les barres indiquées dans la table précédente, on reconnaîtra, 1°. que les barres suspendues par le milieu, courbent d'environ $\frac{1}{3}$ de moins que celles suspendues par les deux bouts;

2°. Qu'à longueur égale, la flèche de courbure est en raison inverse du carré de leur épaisseur;

3°. Que l'augmentation de courbure de ces barres est proportionnelle aux poids dont on les charge dans le milieu.

Il résulte encore de plusieurs autres expériences, qu'à grosseur égale, la courbure des barres doubles de longueur est seize fois plus grande.

La courbure d'une barre ne commence à être sensible que lorsque sa longueur est depuis 44 jusqu'à 56 fois son épaisseur, en raison de ce que le fer est plus ou moins doux, et moyennement de 50.

Ainsi, la barre indiquée dans la table par G qui pliait de 23 lignes, ayant été coupée en deux, chaque moitié ne pliait plus que d'une ligne $\frac{7}{16}$.

Les deux tables ci-après indiquent les résultats des expériences faites sur des barres de même longueur et grosseur en fer forgé, en fer fondu de différentes qualités, et en bois de chêne et de sapin, pour parvenir à connaître leur force et leur roideur respectives, étant posées horizontalement sur deux appuis éloignés de 42 pouces et de 21 pouces.

Il résulte de ces expériences, 1°. que les barres de fer ont plié, sans se rompre, dans les mêmes proportions que celles de la table précédente;

2°. Que la fonte a plié avant de se rompre;

3°. Que la force de la fonte douce a été double de celle de la fonte grise;

4°. Que la force du bois de chêne s'est trouvé à peu près moitié de celle de la fonte grise, et le quart de celle de la fonte douce, lorsque ces fontes sont bien pleines et sans soufflure; mais quand il y en a, elles se trouvent souvent

I.RE TABLE. Expériences faites sur des barres de fer forgé, de fer fondu, de bois de chêne et de sapin, de quatre pieds de longueur et d'un pouce en carré de grosseur, posées horizontalement sur deux appuis éloignés de quarante-deux pouces.

Poids dont elles ont été chargées dans le milieu.

	Courbure exprimée en lignes.	125.00	187.50	250.00	312.50	375.00	437.50	500.00	562.60	675.00	685.00	750.00	812.50	875.00	937.50	1000.00	1062 50
		lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.	lig.
Barre en fer forgé. . . .		1.00	2.00	3.00	5.00	8.00	9.50	11.00	12.00	14.00	15.50	16.25	18 25	20.00	22.50	25.00	27.00
Barre *idem*.		1.50	2 25	4.00	6.50	9.00	10.50	12.00	13.50	15.00	16.75	18.00	19.75	22.00	24.00	26.50	29.00
Barre en fonte grise. . .		1.00	2.25	4.00	5.50	6.25	Elle s'est rompue sous un poids de 450.										
Barre *idem*.		1 75	3.50	4.25	5.50	6.75	Elle s'est rompue sous le même poids.										
Barre en fonte douce. .		1.50	3.50	5.25	7.00	8.50	10.50	11.50	14.25	15.75	Elle s'est rompue sous un poids de 650.						
Barre *idem*.		0.25	0.75	1.50	2.25	3.00	3.50	4.25	5.00	5.75	6.50	7.50	8.25	9.25	10.50	11. 75	14.00 Elle s'est rompue sous 1062.50
Barre *idem*.		1.00	1.7	2.75	4.25	Elle s'est rompue sous 350.											
Barre *idem*.		1.00	2.00	3.25	5.00	7.50	9.00	10.50	Elle s'est rompue sous 561.								

Poids dont elles ont été chargées dans le milieu.

	Courbure en lignes.	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	
Barre en bois de chêne. .		6,00	8.75	10.00	11.50	12.75	14.00	15.25	16.75	18.25	19 75	Elle s'est rompue sous 300.
Barre *idem*.		8.00	10.50	13.00	14.75	16.50	17.75	19.00	20.50	22.50	24.00	Elle s'est rompue sous 325.
Barre en bois de sapin. .		6.00	8.50	10.00	11.75	13.50	15.75	16.50	18.50	20.00	Elle s'est rompue sous 275.	
Barre *idem*.		7.25	9 50	12.00	13.50	15.50	17.25	19.50	21.75	24.00	Elle s'est rompue sous 287.	

II.E TABLE. Autres expériences faites sur des barres de fonte grise et douce, comparées au bois de chêne, posées horizontalement sur deux appuis à 21 pouces de distance; ces barres provenaient des précédentes.

Poids dont elles ont été chargées dans le milieu.

	Courbure en lignes.	30	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650	
Fonte grise.		0.75	1.00	Elle s'est rompue sous 540.								
Autre *idem*.		0.50	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	Elle s'est rompue sous 1050.				
Barre en fonte douce. . .		0 50	1.00	1.50	1.75	2.00	3.25	3.50	3.75	4.00	5.25	Elle s'est rompue sous 1650.
Autre *idem*.		0.50	0.75	1.50	1,25	1.50	1.75	2.00	Elle s'est rompue sous 1272.			
Barre en bois de chêne.		2.50	8.75	Elle s'est rompue sous 600.								
Autre *idem*.		2.50	5.25	Elle s'est rompue sous 570.								

]
]

{
(

(
(
(

(
]

(
{
(
l
z
2

o
c

d

m
fo
so

moins fortes que les barres de bois de chêne à dimensions et positions semblables;

5°. La roideur du bois de sapin est à peu près d'un neuvième moindre que celle du bois de chêne;

6°. Que la roideur du fer comparée à celle du bois de chêne, est comme 17 est à 2, mais comme leur pesanteur est précisément en même raison, c'est-à-dire, comme 544 est à 64, il en résulte qu'une barre de fer ne se soutient pas sans plier à une plus grande longueur qu'une barre de bois de chêne de même grosseur. Le poids qui fait plier le fer étant 8 fois $\frac{1}{2}$ plus fort que celui qui fait plier le bois, il doit en résulter qu'un linteau de fer est aussi fort qu'un de bois de même longueur, dont l'épaisseur serait à celle du linteau de fer, comme $\sqrt{1}$ est $\sqrt{8\frac{1}{2}}$, comme 1 est 2 $\frac{9}{10}$; c'est-à-dire, près de trois fois plus épais;

7°. Qu'un linteau de fer doit avoir pour épaisseur au moins la trentième partie de sa longueur entre les appuis, puisqu'il commence à plier sous son poids, lorsqu'elle est moins de la cinquantième partie de sa longueur. On peut voir dans la table précédente que la barre F, qui avait 21 lignes de grosseur sur 20 lignes, pliait par son propre poids de 2 lignes, sur une longueur de 9 pieds 10 pouces $\frac{1}{2}$. Ce qui prouve combien peu on doit se fier aux barres posées sous les plate-bandes lorsqu'on ne les arrête pas par les bouts, pour les faire agir en tirant, afin de les empêcher de courber; et comme alors elles ont un double effort à soutenir, il faut leur donner une largeur double de leur épaisseur verticale.

8°. La flexibilité des barres placées horizontalement

et soutenues par leurs extrémités, dépend du rapport de leur épaisseur verticale à leur longueur; leur roideur suit le même rapport, mais en raison inverse; c'est-à-dire, que plus une barre a de longueur par rapport à son épaisseur verticale, plus elle a de flexibilité, et qu'au contraire moins elle a de longueur, par rapport à son épaisseur verticale, plus elle a de roideur;

9°. Dans les barres de même longueur, la flexibilité mesurée, par leur flèche de courbure, est en raison inverse du carré de leur épaisseur verticale. La largeur horizontale des barres ne contribue pas à les faire plier, par la raison que plusieurs barres de mêmes longueur et épaisseur, placées les unes à côté des autres, prennent une même courbure; de même une tringle de bois de 2 pouces de largeur, coupée dans une planche de 12 à 15 pouces de largeur, ne plie pas plus que cette planche suspendue de même.

Ire. PREUVE.

Une barre de fer carrée, de 12 pieds de longueur, sur un pouce de grosseur, suspendue horizontalement par ses extrémités, plie d'environ 4 lignes.

Une autre barre carrée de même longueur, sur un demi-pouce de grosseur, courbe d'environ 32 lignes. En calculant la roideur de ces deux barres d'après la formule $\frac{pl}{4}$ dans laquelle p indique le poids, et l le nombre de fois que l'épaisseur de ces barres est contenue dans leur longueur, on remarquera que le poids de la seconde barre n'étant que le quart de celui de la première, tandis que le

nombre de fois que l'épaisseur est contenue dans sa longueur est double, son expression par rapport à celle de la première barre sera $\frac{p}{4} \times \frac{2l}{4} \times \frac{1}{4}$, qui se réduit à $\frac{pl}{32}$. Pour l'expression de la seconde barre, celle de la première étant $\frac{pl}{4}$ et la valeur de $p\ l$ étant la même dans ces deux expressions, la roideur des barres sera en raison inverse des dénominateurs, c'est-à-dire, comme 32 est à 4, tandis que leur flexibilité sera comme 4 est à 32; en sorte que, si la première barre plie de 4 lignes, la seconde doit plier de 32 lignes, comme l'indique l'expérience.

Pour les barres méplates dont la largeur est plus grande que l'épaisseur, il ne faut prendre pour la valeur de p que le poids d'une barre carrée, répondant à l'épaisseur; ainsi pour une barre de mêmes longueur et épaisseur que la précédente, mais qui aurait le double de largeur, on ne prendrait pour la valeur de p que la moitié de son poids, qui est celui d'une barre de 6 lignes en carré, ce qui donnera comme pour l'exemple précédent, la formule $\frac{pl}{32}$ répondant à une courbure de 32 lignes. Ce résultat est confirmé par l'expérience, qui prouve que la largeur des des barres n'augmente ni ne diminue leur roideur ou leur flexibilité.

10°. Dans les barres de même épaisseur, leur flexibilité est comme le carré du produit de leur poids, multiplié par leur longueur.

IIe. PREUVE.

Une barre de fer d'un pouce en carré sur 20 pieds de longueur pesant 76 liv., étant suspendue horizontalement

par les deux bouts a plié dans le milieu de 5 pouces $\frac{1}{4}$ ou 63 lignes.

La même barre ayant été coupée en deux parties égales de 10 pieds de longueur, et pesant 38 livres, chacune de ces barres, suspendue de la même manière, a plié d'environ 4 lignes.

Une de ces moitiés, divisée en deux parties de 5 pieds de longueur, pesant 19 livres, chacune a plié d'environ un quart de ligne.

Pour appliquer la formule à l'expérience, il faut prendre pour la valeur de p, le poids d'un des quarts, ce qui donnera pour l'expressiou de leur roideur $\frac{p}{4}$. Pour les demi-barres $\frac{4pl}{4}$, qui se réduit à $p\,l$, et pour la barre entière $\frac{16\,p\,l}{4}$, qui se réduit à $4\,p\,l$. Ces expressions $\frac{pl}{4}$, $p\,l$ et $4\,p\,l$ sont entre elles comme 1, 4 et 16, dont les carrés sont 1, 16, 256. Prenant le quart de chacun des carrés, on aura $\frac{1}{4}$, 16 et 64, qui indiquent les flèches de courbure comme les donne l'expérience.

11°. Lorsque les barres sont de longueur et grosseur différentes, les flèches qui indiquent leur courbure sont entre elles en raison directe des carrés de leur longueur, et en raison inverse des carrés de leur épaisseur.

IIIe. PREUVE.

La barre de fer désignée dans la table précédente par la lettre A, a de longueur 11 pieds $\frac{1}{4}$ sur 28 lignes de largeur et 7 lignes d'épaisseur; et en prenant cette épaisseur pour unité, sa longueur indiquée par L sera 231. Cette

barre, suspendue horizontalement par ses extrémités, a plié de 19 lignes $\frac{1}{2}$.

La barre C indiquée dans la même table, a 9 pieds 2 pouces de longueur sur 9 lignes d'épaisseur, qui donne 146 pour le rapport de sa longueur à son épaisseur, que nous désignerons par l. Si l'on exprime l'épaisseur de la première barre par E, et celle de la seconde par e, on aura $\overline{L}^2 : \overline{l}^2 :: \overline{e}^2 : \overline{E}^2$, d'où l'on tire l'analogie, force A est à force C, comme $\overline{L}^2 \times \overline{e} : \overline{l} \times \overline{E}^2$; et en substituant les valeurs en chiffre, on aura $231 \times 231 \times 81 = 4322241$ pour la barre A, et $146 \times 146 \times 49 = 1044484$ pour la barre C, d'où l'on tire l'analogie $4322241 : 19\frac{1}{2} :: 1044484$; et à un quatrième terme qu'on trouvera à très-peu de chose près de $4\frac{2}{3}$ pour la flèche de courbure de la barre C, l'expérience donne un peu plus de 4 lignes $\frac{1}{2}$.

L'exactitude de la règle que nous venons d'indiquer est confirmée par plusieurs autres applications, dont les résultats se sont accordés avec le calcul, autant que les différentes qualités de fer ont pu le permettre.

De la force sous laquelle le fer commence à se refouler.

Un cube de fer de 6 lignes en tous sens, a commencé à se refouler sous un effort de 18250, ce qui fait environ 507 livres par ligne superficielle ou carrée.

Un autre cube de 8 lignes a commencé à se refouler sous un effort de 32640, répondant à 510 par ligne carrée.

Un troisième de 10 lignes $\frac{1}{2}$ a commencé à se refouler sous un effort de 57200, répondant à 519 par ligne carrée.

Un quatrième d'un pouce sur tous sens, a commencé

à céder sous un effort de 73750, qui répond à 512 par ligne carrée.

La force moyenne, résultante de ces quatre expériences, est de 512 livres par ligne carrée.

Un cinquième morceau de fer, formant un petit cylindre d'un pouce de diamètre, sur un pouce de hauteur, a commencé à fléchir sous un effort de 58,760 liv., répondant à 520 livres par ligne carrée.

Un autre cylindre de 8 lignes de diamètre sur 8 lignes de hauteur, a commencé à se refouler sous un effort de 25900; ce qui fait un peu moins de 515 par ligne carrée.

Un autre cylindre de 6 lignes de diamètre sur 6 lignes de hauteur, a commencé à se comprimer sous un poids de 14450, qui donne un peu plus de 510 livres par ligne carrée.

La force moyenne est de 515, ce qui prouve que les cylindres sont un peu plus forts que les prismes à base carrée.

12°. Il résulte d'une infinité d'autres expériences faites sur des barres de fer de différentes grosseur et longueur posées verticalement, que leur force diminue en raison de ce que leur épaisseur est contenue un plus grand nombre de fois dans leur hauteur; et que, dans celles où l'épaisseur est contenue un même nombre de fois, la force par ligne carrée est la même, quoique les épaisseurs soient différentes.

Ainsi, la force par ligne carrée d'un morceau de fer d'un pouce, qui a en longueur 24 fois sa grosseur, est la même que celle d'une barre de 6 lignes de grosseur qui aurait aussi en longueur 24 fois son épaisseur.

Une barre de 2 pieds de hauteur sur un pouce de

grosseur, commence à plier sous un effort de 39800; qui donne un peu plus de 276 livres par ligne carrée.

Un autre d'un pied sur 6 lignes de grosseur a commencé à céder sous 9890, ce qui donne un peu moins de 276 livres par ligne carrée; la petite différence vient de ce qu'en général les barres plus grosses donnent des résultats un peu plus forts, parce que les irrégularités sont moins sensibles, et qu'elles sont plus faciles à bien poser.

13°. La force sous laquelle un morceau de fer commence à plier est moindre que celle sous laquelle il se refoule.

Un morceau de fer plie plutôt que de se refouler, dès que sa hauteur est de plus de trois fois sa grosseur.

Tous ceux qui ont eu occasion de faire des expériences, savent combien il est difficile, quelques précautions que l'on prenne, d'éviter certaines circonstances qui influent sur les résultats. Il est cependant facile de concevoir que ces résultats doivent diminuer ou augmenter selon une progression régulière qui dépend autant des qualités de la matière, que du rapport des dimensions des barres éprouvées. Il est évident que plus une barre contient de fois son épaisseur dans sa longueur, moins elle doit avoir de force. Mais cette diminution est-elle précisément en raison inverse du nombre de fois que l'épaisseur est contenue dans la longueur ou hauteur, ou d'une autre progression? c'est ce que j'ai cherché à découvrir par l'expérience; et, pour parvenir à concilier les différences inévitables des résultats et les mettre pour ainsi dire en harmonie les uns avec les autres, j'ai tâché d'y appliquer le moyen dont j'ai ci-devant fait usage, à l'occasion

de la force des bois, en considérant ces résultats comme les ordonnées d'une courbe qu'il est facile de rectifier.

14. Un très-grand nombre d'expériences faites sur des barres de fer carrées de 6, 8, 10 et 12 lignes de grosseur, qui avaient en longueur depuis 3 jusqu'à 240 fois leur grosseur, c'est-à-dire depuis un pouce et demi jusqu'à 20 pieds, m'a fait connaître que lorsqu'une barre de fer a environ 26 à 27 fois son épaisseur en longueur, sa force, pour chaque ligne carrée de sa grosseur, est à peu près la moitié de celle sous laquelle des cubes de même grosseur commencent à se refouler. Dans les barres qui ont en longueur 53 à 54 fois leur épaisseur, la force n'est plus que le quart; pour 81 fois, $\frac{1}{8}$, et ainsi de suite; de sorte que les hauteurs étant 1, 27, 54, 81, 108, 135, 162, 189, 216, 243, les forces sont 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2 et 1, pour chaque ligne superficielle de grosseur.

Ces résultats sont exprimés par les ordonnées de la courbe A, B, C, D, E, fig. 5, planche CLXIX bis. Les points marqués d'une petite croix sont ceux déterminés par l'expérience.

La table suivante peut servir à faire connaître la force moyenne de toutes sortes de barres de fer posées d'aplomb pour soutenir un fardeau, ou pour résister à un effort qui agirait, en les comprimant, dans le sens de leur longueur. La première colonne indique la hauteur ou longueur de la barre, en prenant son épaisseur pour unité; et la seconde colonne, le poids en livres pour une ligne carrée.

TABLE.

Longueur.	Poids.	Longueur.	Poids.	Longueur.	Poids.
0	512.000	99	40.250	198	3.400
3	474.000	102	37.250	201	3.200
6	439.000	105	34.500	204	3.000
9	406.000	108	32.000	207	2.800
12	376.000	111	29.625	210	2.600
15	348.000	114	27.437	213	2.400
18	322.000	117	25.375	216	2.200
21	298.000	120	23.500	219	2.000
24	276.000	123	21.750	222	1.800
27	256.000	126	20.062	225	1.600
30	237.000	129	18.625	228	1.400
33	219 500	132	17.250	231	1.200
36	203.000	135	16.000	234	1.000
39	188.000	138	14.812	237	0.900
42	174.000	141	13.719	240	0.800
45	161.000	144	12.687	243	0.700
48	149.000	147	11.750	246	0.600
51	138.000	150	10.875	249	0.500
54	128.000	153	10.062	252	0.450
57	118.500	156	9.312	255	0.400
60	109.750	159	8.625	258	0.350
63	101.500	162	8.000	261	0.300
66	94.000	165	7.555	264	0.250
69	87.000	168	7.111	267	0.225
72	80.500	171	6.667	270	0.200
75	74.500	174	6.222	273	0.175
78	69.000	177	5.778	276	0.150
81	64.000	180	5.222	279	0.125
84	59.250	183	4.849	282	0.112
87	54.875	186	4.444	285	0.100
90	50.750	189	4.000	288	0099
93	47.000	192	3.800	291	0.098
96	43.500	195	3.600		

Usage de cette table.

On veut connaître la force capable de faire plier une barre de fer posée d'aplomb, de 6 pieds sur 2 pouces en carré de grosseur, en mesure ancienne. On cherchera

la superficie de grosseur en lignes carrées en multipliant 24 par 24, qui donne 576 ; ensuite, considérant que la longueur de cette barre est de 36 fois son épaisseur, on cherchera dans la table la force qui répond à 36 de la première colonne, qu'on trouvera de 203. Le produit de 576 par 203 qui est de 116928, exprimera la force qu'on cherche. Mais si l'on cherche le poids qu'elle pourrait soutenir solidement sans plier, il faut supprimer le dernier chiffre, ce qui réduit ce poids à 11692 livres : en prenant la moitié de ce poids on aura environ 5846 kilogrammes.

Si l'on avait un poids de 24 milliers à soutenir avec un poteau de fer de 6 pieds de hauteur, et qu'on voulût connaître la grosseur qu'il faudrait lui donner pour le porter solidement, il faudrait faire la proportion 11692 : 576:: 24000 est à un quatrième terme qu'on trouvera = 1182, dont la racine 34,4 indiquera la grosseur à donner au poteau de fer.

De la force des fers inclinés.

La manière de trouver la force des barres de fer inclinées, agissant comme des liens ou des contre-fiches de charpente, est la même que celle que nous avons ci-devant indiquée pour les bois ; il faut multiplier la force de la barre relative à sa longueur réelle, en prenant sa grosseur pour unité, par la verticale comprise entre son extrémité supérieure et la ligne horizontale qui passe par le pied, et diviser le produit par la longueur, parce que la force d'une barre de fer posée d'aplomb est à celle de la même barre inclinée comme le sinus total est au sinus de l'angle qu'elle forme avec

l'horizon. Ainsi, ayant trouvé par le moyen de la table précédente que la force d'une barre de fer carrée d'un pouce de grosseur sur 6 pieds de longueur, ou 72 fois sa grosseur, posée d'aplomb, pourrait soutenir avant de plier 11592, on aura celle de la même barre inclinée à l'horizon de 50 degrés, en faisant la proportion 100000 : sin. 50 deg. :: 11592 est à un quatrième terme, qu'on trouvera de 8880 pour la force de la barre inclinée.

Connaissant, d'après tout ce qui vient d'être dit, la manière d'évaluer la force du fer tiré ou comprimé selon sa longueur, posé verticalement, horizontalement, et obliquement, on peut trouver celle de toutes sortes de barres de fer, quelles que puissent être leur position et le résultat de leur combinaison pour former des armatures, des fermes de combles, des planchers, des voûtes, et même des arches de pont.

Les fers dont on a coutume de faire usage pour consolider, réunir et entretenir les parties des édifices, sont les tirans, les chaînes, les plates-bandes, les étriers, les harpons, les bandes de trémie, les manteaux de cheminée, les boulons, les crampons, etc.

Les tirans sont des barres de fer plat, de 2 pouces à 2 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur, sur 6 à 7 lignes d'épaisseur, arrêtées à leurs extrémités par des ancres, pour empêcher l'écartement des murs.

Les chaînes sont composées de plusieurs barres de fer, réunies par des emmanchemens, qu'on fait serrer par le moyen des coins.

Les figures 1, 2, et 3, de la planche CLXX, indiquent le plan, l'élévation et le profil des armatures, des plates-

bandes du portail de Sainte-Geneviève : nous en avons déjà parlé au troisième livre de cet ouvrage page 99, à l'occasion de leur appareil.

Ces armatures sont combinées de manière à détruire la poussée des plates-bandes par celle des arcs en décharge construits au-dessus. Cet effet est produit au moyen des étriers EE, fig. 1, qui suspendent les sept claveaux du milieu de chaque plate-bande, de manière qu'en agissant, ils tendraient par leurs poids à resserrer les premiers voussoirs des arcs, au moyen des ancres DD, posés d'aplomb, par conséquent à les consolider en empêchant ces premiers voussoirs de s'écarter. De même, l'arc ne peut agir sans soulever les sept claveaux réunis de la plate-bande.

Les armatures des plates-bandes, des pérystiles intérieurs, ainsi que celles de la colonnade extérieure du dôme, sont disposées dans le même système; mais les claveaux ne sont pas évidés comme ceux des plate-bandes du portail.

La figure 4 fait voir l'ajustement des barres qui enfilent les T placés dans les joints, pour empêcher les claveaux de glisser.

La figure 5 indique l'ajustement des grandes chaînes marquées A dans le plan et la coupe, qui passent dans le milieu de l'épaisseur du mur.

Les figures 7, 8 et 9 indiquent l'ajustement par le haut des étriers E avec les ancres D et les pièces F, pour empêcher l'écartement des arcs.

La figure 10 est une des branches des doubles T indiqués dans la figure 3 par la lettre G, servant à réunir les sept claveaux du milieu, au moyen du boulon B qui

les traverse, et à les soutenir par les étriers EE qui s'accrochent à la traverse H.

L'ajustement représenté par la figure 6 est celui des pièces formant un double cercle pour contenir la voûte intermédiaire du dôme de Sainte-Geneviève, au-dessus des grandes ouvertures en lunettes.

Ce cercle est formé de deux bandes de fer plat de 25 lignes de largeur, sur 8 lignes ½ d'épaisseur. Les quatre ajustemens, pour parvenir à faire serrer ce double cercle, sont semblables à celui représenté par cette figure. On voit que les bandes de fer A et B sont posées de champ de manière à former deux cercles concentriques, qu'on fait serrer par le moyen d'un coin marqué C, inséré entre les talons des barres réunies par le moyen de deux brides marquées D, qu'on fait serrer au moyen de deux coins minces, indiqués par la lettre E.

Pour poser ce double cercle, on a formé une entaille cylindrique dans l'extrados de la voûte, comme l'indique la figure K : après qu'il a été posé en place et serré par le moyen des emmanchemens, on a percé des trous d'environ 3 pieds en 3 pieds pour réunir les deux cercles et empêcher les assemblages de varier.

La force de tous ces fers n'a été calculée qu'à raison de 50 livres par ligne carrée de la grosseur du fer ; c'est-à-dire, sur une force quatre à cinq fois moindre que celle à laquelle ils pourraient résister.

L'expérience, confirmée par les principes de mécanique, a fait connaître que la force qu'il faut pour rompre un cercle de fer est à celle sous laquelle se rompt une barre droite de même dimension de grosseur, comme la circonférence du cercle est au rayon ; c'est-à-dire, comme

44 est à 7, par la raison que dans le cercle, l'effort se partage sur tous les points de la circonférence de manière à former plusieurs ruptures; tandis que dans une barre droite tirée par les deux bouts, l'effort ne tend qu'à former une seule rupture dans le milieu de sa longueur.

En appliquant ce principe au cercle dont nous venons de parler, et en supposant que l'effort qu'il doit contenir soit cent milliers, la force des barres devrait être égale à $\frac{100000 \times 7}{44}$, qui donne 15910.

Nous avons dit que les barres dont ce cercle est formé ont chacune 25 lignes de largeur sur 8 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, formant ensemble une superficie de grosseur de 425 lignes carrées, lesquelles, évaluées seulement à 50 livres par ligne donneraient 21250, au lieu de 15910, et 133571 pour l'effort que le cercle pourrait contenir, au lieu de cent mille.

Des barres posées en linteaux ou en solives pour former des planchers.

En parlant ci-devant de la roideur du fer, nous avons dit qu'une barre de fer ne se soutient pas, sans plier, à une plus grande longueur qu'une barre en bois de chêne de même grosseur; mais nous avons observé que le poids du fer étant à celui du bois de chêne à peu près comme 17 est à 2, il doit en résulter que la roideur de ces deux matières est en raison inverse de leur pesanteur spécifique; et que leur grosseur, pour résister à un même effort, doit être comme $\sqrt{17}$ est à $\sqrt{2}$, à très-peu de chose près comme 3 est à 1 : ainsi pour remplacer une solive en bois de chêne de 6 pouces de

grosseur, il faudrait une barre de fer d'un peu plus de 2 pouces en carré sur même longueur, ce qui ne procurerait pas d'économie pour les planchers en fer.

Ire. Observation.

Il est à propos de remarquer que les solives ou barres soutenues horizontalement par leurs extrémités, résistent à l'effort qui tend à les faire plier, en raison de leur longueur, de leur épaisseur et de la roideur de la matière dont elles sont formées. Si l'on ne considère que leurs dimensions, leur résistance sera exprimée par la moitié de leur poids, multiplié par le carré de leur épaisseur verticale, et le produit divisé par la moitié de leur longueur.

Une solive en bois de chêne de 12 pieds de longueur, sur 6 pouces en carré de grosseur, produit 3 pieds cubes; lesquels, à raison de 64 livres, donnent pour son poids 192 livres. Une barre de fer de même longueur, dont la grosseur serait en raison inverse de la pesanteur du fer comparée à celle du bois, pèserait le même poids. Si l'on indique les dimensions de la solive et de la barre en pouces, on aura pour la résistance de la solive, d'après ce qui a été dit, $\frac{96 \times 36}{72}$, qui se réduit à 48, et pour la barre de fer $\frac{96 \times 4\frac{4}{17}}{72}$ qui se réduit à $5\frac{11}{17}$; mais comme le fer a 8 fois $\frac{1}{2}$ plus de roideur que le bois, on trouvera pour l'expression de la solive 48×1, qui donne 48, et pour celle de la barre de fer $5\frac{11}{17} \times 8\frac{1}{2}$, qui donne aussi 48.

Pour éviter d'employer de grosses barres, on a imaginé des espèces de fermes ou armatures qui donnent plus de roideur au fer, et augmentent la force en plus grande raison

que le poids. Voici les résultats des expériences que j'ai faites sur deux armatures composées d'une barre courbée en arc et d'une barre droite qui en formait la corde. Ces armatures, représentées par les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6, pl. CLXXI, avait 12 pieds de portée entre les appuis; l'une était formée en fer plat et l'autre en fer carré.

La barre formant l'arc de la première avait 28 lignes de largeur sur 7 lignes d'épaisseur pesant 62 livres $\frac{3}{4}$; elle était posée de plat.

La barre droite formant la corde de l'arc avait 27 lignes de largeur sur 9 d'épaisseur; elle pesait 67 livres $\frac{1}{2}$, posée de plat, comme la précédente.

L'assemblage de ces deux barres, sans moises ni poinçons, étant posé sur deux appuis éloignés de 12 pieds; la barre horizontale pliait vers le bas de 9 lignes. La distance au milieu, entre l'arc et la barre droite, était de 7 pouces.

Ayant suspendu au milieu de la barre courbe un poids de 112 livres, la distance au milieu, entre les barres, n'était plus que de 5 pouces $\frac{3}{4}$, et la barre droite ne pliait plus.

Sous un poids de 217 livres, placé de même, la barre droite pliait vers le haut de 8 lignes, et la distance au milieu, entre les barres, était réduite à 4 pouces 3 lignes; les flancs renflaient d'environ trois lignes.

Sous un poids de 387, les deux barres se sont jointes au milieu; la barre du dessus présentait une double courbure irrégulière, qui formait d'un côté un renflement de 2 pouces et de l'autre de 3 pouces $\frac{1}{4}$. Cette inégalité de résistance a fait que le renflement s'est porté tout à coup d'un seul côté, où il avait 4 pouces 7 lignes.

La même armature, maintenue par un poinçon au milieu, et deux moises pesant en tout 125 livres, étant chargée au milieu d'un poids de 160 livres, s'est maintenue sans aucun effet sensible.

Sous un poids de 417 livres, cette armature baissait au milieu de 3 pouces 2 lignes.

Un autre armature de même longueur, et disposée de même, composée de barres carrées d'un pouce de grosseur, pesant 101 livres, avec le petit poinçon et ses deux moises, étant posée sur deux appuis éloignés de 12 pieds, sans charge, la barre horizontale pliait au milieu vers le bas de 2 lignes.

La même chargée au milieu d'un poids de 318 livres, la barre horizontale pliait vers le haut de 3 lignes; cette charge augmentée jusqu'à 418 livres, au bout de 24 heures la barre horizontale ne pliait plus; elle était parfaitement droite et de niveau.

IIe. Observation.

Nous avons dit ci-devant que la force des barres de fer de même longueur, posées horizontalement sur deux appuis à leurs extrémités, était en raison directe du carré de leur épaisseur verticale.

Dans les armatures dont il s'agit, toute la force consiste dans la barre courbée en arc, retenue par la barre horizontale qui lui sert de corde. Cette combinaison est maintenue par le petit poinçon et les moises qui l'empêchent de changer de forme; d'où il résulte que l'épaisseur, au milieu, se trouve avoir 7 pouces 4 lignes pour les

armatures en barres plates, et 8 pouces pour celles en barres de fer carré d'un pouce; la flèche de la barre courbée en arc étant de 6 pouces, sur 12 pieds de corde.

D'après ce que nous avons ci-devant expliqué page 99, il résulte que la force d'une barre de fer courbée en arc, et entretenue comme les armatures dont il vient d'être question, est à celle d'une barre droite de même grosseur comme sa circonférence intérieure est au double de la flèche qui mesure sa courbure.

La grosseur de la barre de la première armature étant de 28 lignes de largeur sur 7 d'épaisseur, on trouvera, comme à la pag. 99, que sa force absolue est de 63840. Sa longueur entre les appuis étant de 12 pieds ou 1728 lignes, l'expression de sa force relative sera $\frac{63840 \times 49}{1728}$, qui se réduit à 1810 pour cette barre droite posée en linteau. La même barre courbée en arc, a son contour intérieur de 1734 lignes, et la flèche de courbure 72 lignes, ce qui donne pour l'expression de sa force relative $\frac{1810 \times 1734}{144}$, qui se réduit à 21795. Mais la charge qui commence à faire plier une barre de fer n'étant qu'environ la centième partie de la force relative qui la ferait rompre, on aura pour son expression près de 218, qui ne diffère pas beaucoup de ce que donne l'expérience; car si de 218 on ôte 62 livres $\frac{1}{2}$ pour la moitié du poids de l'armature, il restera 156 $\frac{1}{2}$, au lieu de 160 qu'a donné l'expérience.

Pour l'autre armature dont les barres avaient 12 lignes de grosseur, on aura $\frac{46080 \times 144}{1728}$, qui se réduit à 3840 pour une barre droite, et pour la barre courbe $\frac{3840 \times 1734}{144}$, qui se réduit à 46240, dont le centième 462 $\frac{4}{10}$ indique

la charge sous laquelle l'armature commence à plier en dessous.

Si de 462 $\frac{4}{10}$ on ôte 50 livres $\frac{1}{2}$ pour la moitié du poids de l'armature, le surplus sera 411 $\frac{9}{10}$, qui ne diffère pas beaucoup de 418 que donne l'expérience.

RÉSUMÉ.

Il résulte de ces expériences que les calculs qui y ont rapport peuvent être appliqués à toutes sortes de fermes ou armatures, soit pour des voûtes, soit pour des planchers en fer et autres ouvrages du même genre.

Les figures 7, 8, 9, 10, 11 et 12 (même planche) représentent des armatures pour un plancher en briques creuses, avec les détails des ajustemens pour l'assemblage des pièces dont elles se composent; on y a joint la forme des briques creuses qu'on y a employées, sous les N°s. 13, 14, 15 et 16.

Ce plancher a 20 pieds de largeur dans œuvre, les murs ont 18 pouces d'épaisseur; il est formé par des armatures, comme les précédentes, composées de deux barres, dont une, courbée en arc, est retenue par l'autre, qui forme la corde de cet arc. Cette armature est entretenue dans sa longueur par sept brides ou petites moises qui la divisent en huit parties égales.

Les barres ont chacune 30 lignes de largeur sur un pouce d'épaisseur, posées de plat; la flèche de courbure de l'arc est de 6 pouces, c'est-à-dire d'un quarantième de la longueur dans œuvre de l'armature. Ces brides servent à maintenir l'arc et empêcher les barres de s'écarter plus que la courbe ne l'exige; mais comme elles pourraient se rappro-

cher, on a placé entre les deux barres, au milieu de chaque bride, des petits potelets de fer qui empêchent ce second effet; en sorte que l'ensemble de l'armature ne peut pas changer de forme.

Ces armatures sont reliées entre elles par huit rangs d'entre-toises, composées de barres de 18 lignes de largeur sur 9 lignes d'épaisseur, terminées par des crochets qui embrassent les grandes barres droites formant les cordes des armatures.

Les intervalles entre les armatures sont bandés en briques creuses, maçonnées en plâtre, en prenant les précautions convenables pour obvier au gonflement dont il est susceptible.

Au-dessus de chaque armature est un tiran de fer plat, qui s'accroche, ainsi que la barre droite de l'armature, dans un même ancre placé à l'extérieur des murs.

Les figures 17, 19 et 21 indiquent des armatures pour des voûtes aussi en poteries creuses, comprises entre deux circonférences concentriques. Cette combinaison forme des segmens dont les cordes se relient de manière à empêcher le redressement des courbes, et à diminuer l'effort contre les murs extérieurs.

Les figures 18, 20 et 22 représentent des armatures dans le même genre pour des voûtes qui doivent être extradossées de niveau pour former plancher.

Dans la fig. 21, le demi-cintre est divisé en six voussoirs, comprenant chacun un arc de 15 degrés; en sorte que le rayon D C est au rayon E C comme le sinus total est à la sécante de 15 degrés, comme 1000 est 1035, comme 30 est à 31, et que E D est environ la trentième partie du rayon D C.

Ainsi ce rayon étant supposé de 5 mètres ou 15

pieds, donnera pour l'intervalle E D 166 millimètres ou 6 pouces.

Les arcs concentriques qui renferment cet espace ont pour épaisseur le quart de E D, c'est-à-dire 42 millimètres ou 18 lignes.

La grosseur des barres formant les cordes des segmens, est les $\frac{2}{3}$ de celle des arcs, c'est-à-dire 28 millimètres ou 1 pouce. Les petits potelets formant poinçon ont la même épaisseur. Ces armatures posées à un mètre et demi de distance, et réunies par des entre-toises ou barres de fer coudées par les bouts, placées alternativement, peuvent être garnies en poteries creuses et avoir une très-grande solidité, étant couvertes à l'extérieur en plomb, si elles sont à l'air et ravalées en plâtre à l'intérieur.

Pour former l'enduit intérieur, on peut attacher aux arcs, avec des crochets, des vis ou autres moyens, des contre-lattes en bois pour y clouer le lattis et faire l'enduit comme un plafond.

La figure 22 indique la manière de former un plancher de niveau au-dessus d'une voûte en plein cintre.

Cette armature, ainsi que celles figures 18 et 20, ne diffèrent de la précédente que par le prolongement des barres horizontales E H et D I, ainsi que celui des petites moises ou entre-toises pour relier le cintre avec les barres horizontales.

Lorsque l'espace entre le cintre et les barres horizontales est considérable, on peut les réunir par des cercles et des barres, comme la figure 22 l'indique.

Lorsque les voûtes n'excèdent pas 8 à 9 pieds de diamètre et qu'elles n'ont rien à soutenir, elles peuvent être formées par un demi-cercle en fer, dont l'épaisseur peut

être d'une $\frac{1}{2}$ ligne par pied de la circonférence développée, ce qui donne douze lignes $\frac{1}{2}$ pour un diamètre de 8 pieds, et 14 lignes pour un diamètre de 9 pieds.

Pour les revêtir d'un enduit, on peut, comme nous l'avons dit, arrêter en dessous avec des vis, des crochets, ou de quelque autre manière, des contre-lattes en bois pour y clouer le lattis, et faire un enduit en plâtre qui ne touchera pas les fers.

Pour les voûtes d'un plus grand diamètre jusqu'à 15 ou 18 pieds, on peut fortifier les demi-cercles en fer par des barres droites formant un polygone circonscrit, Cette précaution est surtout nécessaire si les courbes sont en fer fondu.

Pour les voûtes depuis 18 jusqu'à 30 à 40 pieds, on formera un polygone entre deux circonférences concentriques, qui se relient comme dans la figure 19.

Il faut avoir attention qu'il se trouve toujours au sommet de l'arc un segment dont la corde forme une tangente horizontale à la circonférence inférieure, et une autre qui touche cette circonférence vers le milieu des reins, au point où se fait le plus grand effort. Lorsque la voûte est formée par un arc de cercle, cette seconde barre doit toucher le milieu du demi-arc.

Les fig. 1 et 2, planche CLXXII, indiquent des combinaisons pour des combles en fer qui n'auraient pas une grande charge à porter.

Les figures 3 et 4 indiquent des combles plus solides, susceptibles d'être garnis en briques pleines ou creuses pour des bâtimens à mettre à l'abri des incendies.

La figure 5 est une combinaison projetée pour une ferme de théâtre de même dimension que celle du

théâtre d'Argentine à Rome, ou du théâtre de l'Odéon à Paris.

La fig. 1, planche CLXXIII, représente une des fermes en fer du comble du Théâtre-Français au Palais-Royal, et la figure 2, une combinaison rédigée d'après notre système par segmens.

Les figures 1 et 2 de la planche CLXXIV, indiquent le plan et l'élévation d'une des fermes en fer du salon d'exposition des tableaux au Louvre, avec les détails; et les figures 3 et 4, le plan et l'élévation d'après notre système. Ces changemens consistent, 1°. en ce qu'on a placé les demi-fermes A et B, figure 3, à la suite des barres C et D, qui forment un des angles du cadre de l'ouverture vitrée, au lieu de les placer en avant, comme dans la figure 1; 2°. en ce que dans l'élévation, figure 4, on a prolongé la barre *e*, jusqu'au point *b*, ce qui donne à cette ferme plus de force et de stabilité.

ARTICLE III.

Des ponts en fer.

C'est à Lyon qu'on a proposé pour la première fois de faire un pont en fer sur la Saône. Ce pont devait être composé de trois arches, de chacune 78 pieds. Il fut commencé en 1722, mais l'économie fit préférer un pont en charpente.

Pont de Coalbroockdale, planche CLXXV.

En 1779, les Anglais firent construire ce pont en fer fondu (1) sur la rivière de Saverne, à 180 milles de Loudres, sur la route d'Irlande.

Ce pont est formé d'une seule arche, dont le diamètre est de 100 pieds 6 pouces anglais (30 mètres 62 centimètres). Le cintre est formé par un arc de cercle de 154 degrés 24 minutes ½, dont la flèche est de 39 pieds 8 pouces anglais (12 mètres 63 centimètres).

Ce pont est soutenu dans sa largeur par quatre fermes semblables à celle dont la moitié est représentée par la figure 1.

Chaque ferme est composée du grand arc intérieur, fondu en deux pièces, réunies au sommet par une clef, et de deux parties d'arcs concentriques qui se terminent sous la sablière ou longrine qui porte le plancher.

Cette sablière est encore soutenue par des poteaux ou barres à plomb, dont une est appliquée le long de la culée, et l'autre répond à la naissance de l'arc intérieur. Ces barres sont réunies dans leur hauteur par deux entre-toises droites, et vers le haut par une espèce de cintre à double courbure. La partie triangulaire entre la barre d'a plomb, la sablière du haut et le dos de l'arc supérieur, est remplie par un cercle qui réunit toutes ces parties.

---

(1) Ce qui va être dit sur les ponts en fer, est extrait en partie d'un mémoire fort bien fait et très-intéressant de M. Lamandé fils, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui a été employé au pont du Jardin du Roi et qui a été chargé de la construction du pont de l'École Militaire.

Les arcs de cercle sont réunis entre eux par des entretoises tendantes à leur centre commun et formant comme des divisions de voussoirs.

Tout ce système, posé sur des semelles de fer de 4 pouces d'épaisseur (0 m. 10), scellées dans la retraite de la culée, est assemblé dans des mortaises marquées M., figure 2.

Le dessus du pont est formé par des plaques de fonte qui portent sur les sablières des fermes, et qui sont recouvertes de gravier pour former la chaussée.

La figure 3 est une coupe sur la largeur du pont, et la figure 4 représente une combinaison que je propose, et qui présente plus de régularité.

Pont de Sunderland, planche CLXXVI.

Ce pont, situé dans le comté de Burham, est composé aussi d'une seule arche, dont la largeur est de 236 pieds anglais (71 mètres 91 c.). Il a été commencé en 1793, et terminé en 1796, par M. Rowlandburdon, membre du parlement, d'après les projets et sous la direction de M. Wilson, ingénieur.

Ce pont est situé de la manière la plus pittoresque, entre deux rochers escarpés et élevés de 94 pieds (28 m. 642) au-dessus de la rivière de Wear, que les vaisseaux marchands remontent jusqu'à trente milles au-dessus de ce pont, sous lequel ils peuvent passer à pleines voiles.

Le pont de Sunderland est soutenu dans sa largeur par six fermes, espacées entre elles de 6 pieds, de milieu en milieu.

Ces fermes, dont la moitié est représentée par la figure

1, sont composées pour ce cintre de châssis de fer fondu, pressés les uns par les autres, comme les voussoirs d'un pont en pierre.

Chacun de ces voussoirs a 5 pieds de hauteur (1 m. 524), sur 2 pieds 5 po. de largeur moyenne (0 m. 736). Ils forment trois arcs concentriques de 6 pouces (0 m. 153) de largeur, réunis par des montans perpendiculaires à ces arcs, de chacun 2 pieds 3 pouces (0 m. 38) de longueur sur 2 pouces (0 m. 051) de largeur, laissant entre eux un intervalle d'un pied (0 m. 305).

Chaque partie d'arc répondant à ces voussoirs, porte une espèce de canal ou rainure, disposée pour recevoir des plates-bandes de fer forgé, qui relient ces voussoirs entre eux d'une manière fort simple, très-solide et très-ingénieuse; en sorte que le fer fondu, qui est cassant, se trouve relié par le fer forgé, et que la rupture d'une ou de plusieurs pièces n'entraînerait aucun dérangement dans la combinaison de ce système.

Les propriétés de ces deux espèces de fer sont combinées de la manière la plus avantageuse; savoir, la fonte pour porter, et le fer forgé pour relier. Un pont tout en fer forgé aurait été, par son élasticité, sujet à de trop grandes vibrations. La roideur et l'incompressibilité de la fonte la rendent plus propre que le fer forgé pour former les voussoirs des arcs; mais comme elle est cassante, elle avait besoin d'être maintenue par du fer forgé.

Les fermes sont réunies de deux en deux voussoirs, par des entre-toises en fonte RS, figure 3, de 6 pieds de longueur (1 m. 83); on leur a donné la forme de tube, afin d'opposer plus de résistance avec moins de matière. Ces tubes sont placés alternativement à l'extrados et à l'in-

trados des arcs; ils portent à leurs extrémités des espèces de pates, percées de trous pour se relier au moyen de boulons.

Les tympans ou espaces compris entre les arcs sont garnis par des cercles de fer tangens entre eux, ainsi qu'à l'arc d'extrados et au-dessous du plancher du pont.

La figure 2 représente une coupe prise sur la largeur du pont.

La figure 4 indique une combinaison plus régulière, que je propose, et qui pourrait être adoptée pour des fermes de pont de ce genre.

Pont de Stains, planche CLXXVII.

Ce pont a été construit en 1802, sur la Tamise, à dix-sept milles de Londres, par le même ingénieur Wilson qui a construit le pont de Sunderland.

Ce nouveau pont en fer est aussi d'une seule arche, de 180 pieds anglais d'ouverture (54 m. 85); son cintre est formé par un arc de cercle dont le rayon est de 271 pieds 1 pouce (79 m. 225); la flèche de l'arc est de 16 pieds (4 m. 88).

Ce pont comprend, dans sa largeur, six fermes semblables, espacées de milieu en milieu de 6 pieds (1 m. 83).

Les arcs de chacune de ces fermes sont composés, comme au pont de Sunderland, de châssis en fer fondu formant des voussoirs.

La largeur des pièces formant les arcs est de 6 pouces (0 m. 15) sur 4 pouces 2 lignes d'épaisseur. Ces arcs sont réunis par des montans qui tendent à leur centre.

La largeur moyenne des voussoirs est de 4 pieds 10 pouces (1 m. 474); c'est-à-dire double de celle des voussoirs du pont de Sunderland; ils sont réunis entre eux par des tenons mobiles qui s'ajustent dans des mortaises pratiquées à chaque bout des parties d'arc AB, CD, figure 2.

Les arcs de chaque ferme sont réunis par des espèces de moises ou entre-toises évidées D E, placées au droit de chaque joint des voussoirs, et entretenues par des clavettes qui servent aussi à fixer les tenons qui réunissent les voussoirs.

La figure 3 indique une coupe en travers de ce pont.

Les tympans sont remplis, comme au pont de Sunderland, par des cercles tangens entre eux, et d'un côté à l'extrados de l'arc, et de l'autre au-dessous du pont, dont le plancher est formé avec des plaques en fonte de deux pieds de largeur (0 m. 609), portant en dessus des renforts terminés en arc, afin de leur procurer plus d'épaisseur au milieu.

Des idées d'économie et les difficultés d'ajustement ont porté l'ingénieur à supprimer les plates-bandes de fer forgé, encastrées dans les arcs en fonte des voussoirs; ils les a remplacées par des tenons mobiles, mais il en résulte un très-grand inconvénient; c'est que la rupture des pièces devient très-dangereuse, et leur remplacement très-difficile et même impossible pour quelques-unes, telles que les moises ou entre-toises, à cause des encastremens pratiqués pour recevoir les arcs des voussoirs contigus; de même que les tenons mobiles qui pourraient se rompre par l'effet d'un mouvement dans l'ensemble de la combinaison. La difficulté de ces remplacemens,

est d'une si grande importance, qu'elle doit faire préférer le moyen employé au pont de Sunderland.

Pont des Arts, planche CLXXVIII.

Ce pont, construit à Paris pour le passage des gens de pied, est, je crois, le premier pont en fer exécuté en France. Il est composé de neuf arches de chacune 19 mètres 3 centimètres, environ 59 pieds 6 pouces; en sorte que sa longueur entre les culées est de 173 mètres 87 centimètres, ou 535 pieds $\frac{1}{2}$, sur 9 mètres 74 centimètres ou 30 pieds de largeur.

Chacune des arches est composée de cinq armatures semblables en fer fondu, formées d'une combinaison de courbes en arc de cercle, dont les unes forment le cintre des arches, et les autres servent à les contre-butter vers le milieu des reins, comme l'indique la figure première. Au milieu de chaque pile s'élève une forte barre à plomb, reliée avec les cintres des arcs par des barres en écharpes.

Les courbes des cintres, qui ont 19 centimètres de largeur (7 pouces), sont en deux pièces assemblées au milieu.

Au-dessus de chacune de ces armatures sont fixées, à des distances égales, des espèces de potelets *a*, *b*, *c*, *d*, aussi en fonte, qui soutiennent les pièces de bois de charpente formant le plancher du pont recouvert en madriers.

OBSERVATION.

Il manque à ce pont, très-ingénieusement combiné d'ailleurs, afin d'avoir toute la solidité nécessaire en certaines

circonstances, une barre continue B B, pour relier le sommet des arcs, et une autre C C, pour servir de corde à l'arc au-dessus des piles, et lui procurer plus de fermeté pour contre-butter les grands cintres, figures 2 et 3.

Les figures 3 et 4 indiquent deux combinaisons en forme de voussoirs, l'une simple et l'autre comme au pont du Jardin du Roi, susceptible de plus de solidité. Cette dernière, figure 4, serait dans le cas de soutenir le roulage des voitures.

Il est bon de rappeler ici ce que nous avons dit ci-devant à l'occasion des ponts en charpente pour le passage des gens de pied, qui, dans certaines circonstances, se trouvent plus chargés que ceux pour le passage des voitures.

Pont du Jardin du Roi, planche CLXXIX.

Dans le premier projet adopté pour la construction de ce pont, les voussoirs étaient reliés par des plates-bandes de fer forgé, comme au pont de Sunderland; mais des idées d'économie y firent renoncer. Les motifs ou plutôt les prétextes furent 1°. la difficulté de l'ajustage des barres de fer forgé dans les rainures des arcs en fonte, et de faire rapporter les trous des barres de fer avec ceux percés dans la fonte, ce qui cependant n'aurait pas été difficile en les perçant sur le tas.

2°. La crainte de diminuer la force des arcs en fonte en les forant; mais cette crainte s'évanouit quand on considère que les plates-bandes de fer auraient plus que doublé la force de la fonte.

3°. Le motif qui a fait décider la question, est l'économie considérable qui résultait de la suppression d'une grande

quantité de fer forgé, et de main-d'œuvre pour les ajustages.

Quant aux objections faites sur l'emploi du fer forgé avec le fer fondu, à cause de la différence d'extension dont ils sont susceptibles à un même degré de chaleur, cet objet mérite un examen particulier.

(1) M. Bouguer, de l'Académie des Sciences, a éprouvé qu'une barre de fer forgé de 6 pieds de longueur s'allongeait de $\frac{47}{100}$ de ligne, ou de $\frac{1}{1838}$ de sa longueur, depuis le terme de congélation jusqu'à celui de l'eau bouillante, c'est-à-dire, pour 80 degrés du thermomètre de Réaumur, $\frac{47}{8000}$ de ligne, ce qui fait $\frac{1}{147064}$ par degré, en supposant la dilatation proportionnelle.

Le même académicien éprouva, à l'aide de son pyromètre, que des règles de 6 pieds des métaux ci-après s'étaient allongées, depuis le degré de glace jusqu'à celui de l'eau bouillante; savoir :

	centièmes de ligne.
celle de fer, de	47 $\frac{1}{1838}$
d'or, de	63 $\frac{1}{1371}$
d'argent, de	81 $\frac{1}{1066}$
de plomb, de	94 $\frac{1}{919}$

et en supposant la longueur de ces règles divisée en 33000 parties égales, il trouva

le rallongement du fer, de	18 $\frac{1}{1832}$
celui de l'or, de	24 $\frac{1}{7513}$
celui de l'argent, de	31 $\frac{1}{1064}$
celui du plomb, de	36 $\frac{1}{916}$

M. Ellicot, physicien anglais, a trouvé qu'à

(1) Physique de Muschembrock, tome II, page 342 — 344.

un même degré de chaleur, centièmes de ligne.

la dilatation pour l'or, était de . . . . 73 $\frac{1}{1510}$

pour l'argent, de . . . . 102 $\frac{1}{1087}$

pour le similor, de . . . 95 $\frac{1}{1167}$

pour le cuivre, de . . . . 89 $\frac{1}{1245}$

pour le fer forgé, de . . . 60 $\frac{1}{1855}$

pour l'acier, de . . . . . 56 $\frac{1}{1989}$

pour le plomb, de . . . . 149 $\frac{1}{746}$

Le chevalier don George Juan, Espagnol, ayant exposé aux rayons du soleil des règles de même longueur, faites avec les différens métaux ci-après, trouva

centièmes de ligne

le rallongement du fer, de . . . . . 13 $\frac{1}{4}$

de l'acier, de . . . . . 12 $\frac{1}{3}$

du cuivre, de . . . . . 19 $\frac{1}{4}$

du similor, de 20

du verre, de . . . . . 3 $\frac{1}{4}$

de la pierre, de 2

Mnschembrock ayant plongé dans l'eau bouillante des fils de métal de 6 pouces de longueur, tirés à la même filière, trouva le rallongement

de celui en plomb, de . . . . . 160 degrés.

en étain, de 124

en cuivre jaune du Japon, de . . . 84

idem de Barbarie, de 81

en similor, de 92

en fer, de 73

en acier de 67

Par les dernières expériences faites en Angleterre, avec un instrument perfectionné par Ramsden, et répétées en France par MM. Lavoisier et Laplace, on a trouvé qu'une

verge d'acier, depuis la température de la glace fondante jusqu'à celle de l'eau bouillante, ou depuis 0 jusqu'à 80 degrés du thermomètre de Réaumur, s'allonge de $\frac{1}{87375}$, et une en fer fondu de $\frac{2}{90091}$, qui peuvent se réduire à $\frac{1}{874}$ et $\frac{1}{901}$; ce qui donne pour chaque degré $\frac{1}{69920}$ pour l'acier, et $\frac{1}{72080}$ pour le fer fondu.

Quand au rallongement du fer forgé, il faut remarquer que son rapport avec celui de l'acier a été trouvé, à très-peu de chose près, le même dans les expériences ci-devant citées. M. Ellicot trouve ce rapport comme 60 est à 56, où comme 15 est à 14.

Don George Juan trouve ce rapport comme $13\frac{1}{4}$ est à $12\frac{1}{3}$, comme 159 est 148, qui ne diffère pas beaucoup de 15 à 14. Les expériences de Muschembrock donnent ce rapport comme 73 à 67, et celui de 15 à 14 donnerait 73 et 68, ce qui en approche beaucoup.

Ainsi, en adoptant le rapport de 14 à 15, pour celui de la dilatation de l'acier et du fer forgé, à 80 degrés du thermomètre de Réaumur, d'après les dernières expériences, le rapport de l'acier au fer forgé serait comme $\frac{1}{874}$ est à $\frac{1}{816}$, et pour celui du fer forgé à celui du fer fondu $\frac{1}{816}$ et $\frac{1}{901}$; ces deux fractions réduites à un même dénominateur deviennent $\frac{901}{735216}$ et $\frac{816}{735216}$, dont la différence $\frac{85}{735216}$ se réduit à $\frac{1}{8650}$; c'est-à-dire que pour deux barres de 8 mètres 65 centimètres ou 26 pieds 7°. 6 lignes de longueur, sur même grosseur, l'une de fer forgé et l'autre de fer fondu exposées à une chaleur de 80 degrés, le rallongement ne différerait que d'un millimètre.

Mais en prenant pour terme du plus grand froid en France 16 degrés au-dessous de 0, et 24 degrés au-dessus

pour celui de la plus grande chaleur, la plus grande différence de température que puissent éprouver les fers exposés à l'air libre, ne serait que de 40 degrés; et si l'on fait attention que la pose de ces ouvrages n'a presque jamais lieu lorsque la température est au-dessous de 0, on peut prendre 24 degrés pour la plus grande différence que puissent éprouver ces matières, qui donnerait $\frac{2448}{735216}$ pour la fonte, et $\frac{2703}{735216}$ pour le fer forgé, différence $\frac{25\frac{1}{2}}{735216}$, qui se réduit à $\frac{1}{28831}$: en sorte que la différence de dilatation pour des barres de 28 mètres 831 millimètres ou 88 pieds 9 pouces, ne serait que d'un millimètre pour une longueur qui est plus de trois fois celle des barres précédentes, ce qui réduit à rien l'objection de l'emploi de ces deux espèces de fer.

Les plus grands efforts qui résultent de la dilatation ou de la condensation des métaux, ont lieu pour les barres droites qui sont retenues par leurs extrémités et maintenues dans leur longueur de manière à ne pas pouvoir plier. Si les obstacles qui retiennent ces barres sont invincibles, elles se refoulent, et s'ils ne le sont pas, elles les éloignent. Lorsque les barres ne sont pas suffisamment maintenues dans leur longueur, elles plient.

On a vu au pont des Arts que le rallongement des barres d'appui des balustrades en fer, par l'effet de la chaleur, a fait reculer les pierres dans lesquelles elles étaient scellées à leurs extrémités. Ces pierres qui n'ont presque pas de charge ont dû céder à cet effort, plutôt que de faire courber ces barres en dedans ou en dehors.

Pour donner une idée de cet effet, nous allons y appliquer le résultat des expériences que nous venons de citer.

La longueur de ces barres d'appui est de 535 pieds 6 pouces ou 173 mèt. 951 millim.; et comme le rallongement du fer forgé pour 24 degrés du thermomètre de Réaumur est de $\frac{1}{2720}$, celle d'une barre de 173 mètres 951 a dû être d'un peu moins de 64 millimètres ou de 28 lignes $\frac{1}{2}$.

Description du pont du Jardin du Roi tel qu'il est exécuté.

Ce pont est composé de cinq arches de chacune 32 mètres 36 centimètres (ou 100 pieds) d'ouverture. La courbe du cintre est un arc de cercle dont le rayon est de 42 mètres 06, et la flèche ou montée de 3 mètres 226 (10 pieds). La largeur du pont est soutenue par sept fermes distantes de milieu en milieu de 2 mètres 02 (6 pieds 2°. 6 lignes).

L'archivolte de chaque arc est divisée en 21 voussoirs de 1 mètre 60 centimètres (5 pieds) de largeur, sur 1 mètre 30 (4 pieds) de hauteur, et 0 m. 07 (2 pouces 6 lignes) d'épaisseur. Ces voussoirs, représentés par la figure 1, planche CLXXIX, ont la forme d'un châssis à jour dans le genre de ceux du pont de Sunderland, composé de trois arcs concentriques et de montans qui tendent à leur centre; on a interposé dans leurs joints des lames de cuivre d'environ une ligne d'épaisseur, susceptibles de céder à la pression et de remplir les inégalités de la fonte.

Les tympans au dessus de l'archivolte sont remplis par des châssis LMNOP, figure 1, formés par deux arcs concentriques et de montans qui leur sont perpendiculaires; ils ont les mêmes dimensions que ceux des voussoirs. Ces montans ont leur appui sur l'arc d'extrados des voussoirs

de l'archivolte, et sont assemblés avec eux par des boulons à vis et écrous en fer forgé.

Ce remplissage des tympans, différent de celui des ponts d'Angleterre, a l'avantage d'être plus solide et d'une exécution facile, étant composé de châssis comme ceux des voussoirs de l'archivolte.

Les quatre voussoirs qui joignent la clef portent la partie de tympan au-dessus. Il faut remarquer 1°. que les arcs du tympan soutiennent une partie de la pression exercée sur le pont, qui se trouve répartie sur une plus grande surface, à mesure qu'elle approche des culées et des piles;

2°. Que le prolongement des joints des voussoirs, en ne formant qu'un seul corps avec l'archivolte, tend à donner plus de roideur et de force aux fermes, et à diminuer les vibrations lorsqu'il passe des voitures sur le pont.

Les fermes sont reliées entre elles par des entre-toises KSRS, figure 6, posées perpendiculairement à leur direction. L'une de ces entre-toises répond à l'arc supérieur de l'archivolte, et l'autre à celui de dessous. La longueur de chaque entre-toise est de 1 mètre 95 cent. (6 pieds). Le corps ou tige S est un barreau carré en fonte de 0 m. 07 c. de grosseur, (2 pou. 6 lig.); cette tige est terminée à ses bouts par deux branches 5, 6, 5, 0 percées chacune d'un trou rond de 0 m. 03 c. de diamètre (1 pouce).

Dans ces trous passent des boulons pour réunir l'arc des voussoirs avec les entre-toises placées à droite et à gauche de chaque ferme intérieure.

On peut voir qu'au pont de Coalbroockdale, les fermes qui sont composées de trois grands arcs fondus à part, sont reliées par des entre-toises posées sur les fermes

et entaillées sur les arcs; qu'à celui de Sunderland les entre-toises ont la forme d'un tube placé entre les fermes et portent à chaque extrémité un talon ou branche, au moyen de laquelle ils sont boulonnés avec les voussoirs. Cette forme de tube avait d'abord été projetée pour les entre-toises du pont d'Austerlitz, dans l'intention de se procurer plus de résistance avec une même quantité de matière. Des raisons d'économie ont fait préférer des tiges pleines.

Ce pont est soutenu sur des culées et des piles en pierre de taille. Ces dernières ne s'élèvent que jusqu'à la naissance du cintre des arches; elles portent en-dessus des pièces triangulaires MKT, figure 4, en fer fondu formant coussinets, pour se raccorder avec les arcs des fermes. Ces pièces sont les plus fortes qui entrent dans la composition de ce pont; elles ont 3 mètres 39 cent. (10 pieds 5 pouces) de hauteur, sur 3 mètres (9 pieds 2 pouces 10 lignes) de base égale à la largeur des piles; elles ont la même épaisseur que les voussoirs, et sont liées d'une ferme à l'autre par des entre-toises et des barres de fer fondu posées diagonalement, désignées sous le nom d'écharpe, qui ont la même épaisseur que les entre-toises avec lesquelles elles sont assemblées, par le moyen de boulons en fer forgé.

Ces coussinets sont posés sur une coulisse de fonte EFG, figure 5, désignée sous le nom de coussinet inférieur, encastrée dans la pierre qui forme le chaperon de la pile, et portant une tige verticale qui traverse trois assises des piles en pierre, dans lesquelles elle est scellée. On a aussi encastré et scellé dans les pierres des paremens des culées, de grandes rainures de fonte, appelées coussinets

de culée, qui reçoivent les premiers voussoirs des arches extrêmes.

Le plancher de ce pont est en bois de charpente ; il est formé de pièces de bois CD, figure 3, posées perpendiculairement à l'axe du pont, recouvertes de madriers jointifs. L'écartement et le devers de ces pièces est retenu par des écharpes en fer forgé MN, posées en croix de Saint-André. Ce plancher porte une chaussée en cailloutis, et des trotoirs en dalles de pierres dures, bordés par une rampe ou balustrade en fer forgé à hauteur d'appui, fig. 2.

La figure 7 indique une combinaison plus simple et plus régulière d'après notre système.

OBSERVATIONS.

La largeur de l'archivolte d'un pont en fer devrait être proportionnée à la grandeur de la circonférence de l'arc qui forme son cintre, mais si l'on veut réunir la solidité à la proportion, je trouve que pour les demi-cintres dont la circonférence est moindre de 45 degrés, cette largeur peut-être déterminée par la rencontre de la verticale BD, qui passe par le milieu de l'arche avec une tangente ED, parallèle à la corde AC du demi-arc, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 6 de la planche CLXXII. On peut juger de l'effet qui résulte de cette règle, par l'application que nous en avons faite aux nouvelles combinaisons que nous proposons pour les ponts anglais de Sunderland et de Stains, et pour ceux des Arts et du Jardin du Roi à Paris.

Lorsque l'arc du demi-cintre d'un pont en fer est de plus de 45 degrés, comme celui du pont anglais de

Coalbrockdale, l'épaisseur de l'archivolte pourra être déterminée par une tangente DF, parallèle à la corde CB, de la moitié du demi-arc, ainsi qu'on le voit indiqué par la figure 7 de la même planche.

Nous allons terminer cette section par quelques observations sur les fermes et armatures en fer dont peuvent être formés les planchers, les voûtes et les toits.

En parlant ci-devant, page 534, des planchers compris entre des surfaces droites et horizontales, nous avons fait voir que la combinaison la plus simple et la plus solide des armatures qui doivent les former, était de les fortifier par des arcs de cercle intérieurs, entretenus par des petits potelets et des barres qui empêchent les arcs de se redresser.

Les voûtes dont la courbure est apparente au dedans et au dehors peuvent aussi former avec des armatures composés de segmens de cercle qui se relient entre eux, comme l'indiquent les figures 17, 19 et 21 de la planche CLXXI.

Si des voûtes doivent former plancher en dessus, les parties comprises entre la courbe du cintre et le sol de niveau fournissent un moyen de les rendre extrêmement solides, ainsi que nous l'avons indiqué par les figures 18, 20 et 22 de la même planche. Il en est de même des armatures, pour former les combles, indiquées par les figures de la planche CLXXII; mais il est essentiel de remarquer que, lorsqu'il s'agit de voûtes en berceau d'un très-grand diamètre, comprises entre deux surfaces courbes apparentes, il faut des précautions particulières pour les empêcher de pousser les murs, en changeant de forme par l'effet de leur poids et de leur élasticité, et des

variations de température auxquelles elles peuvent être exposées.

Lorsque le plan de la pièce à voûter est carré, ou qu'il en diffère peu, il faut préférer la forme des voûtes en arc de cloître à celle des voûtes en berceau, parce que dans les premiers, les effets des portions qui se réunissent pour former les angles se détruisent en grande partie.

La forme de voûtes la plus avantageuse pour couvrir un grand espace, est celle des voûtes sphériques, parce qu'elles peuvent être maintenues dans tous leurs points par des cercles horizontaux qui les empêchent d'agir et de changer de forme. Cependant il faut considérer que, si elles sont exposées immédiatement aux intempéries de l'air, elles sont susceptibles d'éprouver, par les différens degrés de température, des effets alternatifs de dilatation et de condensation, qui finissent par diminuer beaucoup la force d'union de leurs assemblages. Ces effets sont d'autant plus dangereux, que les voûtes ont un plus grand diamètre à cause du plus grand poids mis en mouvement.

Pour prévenir ces inconvéniens, il faut éviter de couvrir ces voûtes avec des matières métalliques trop minces, qui, au lieu de les préserver de ces effets, les augmentent. C'est pour cette raison que, dans le projet de coupole en fer que j'avais proposé en 1803 pour la cour de la halle au Blé de Paris, la couverture devait être en tuiles plates vernissées, qui auraient mieux garanti les armatures composant la voûte en fer et leurs assemblages, qu'une couverture métallique sujette aux mêmes variations. Quant à l'objection qui m'a été faite par quelques personnes relativement au poids, j'observe, d'après les principes sur lesquels s'établit la véritable théorie de la construction,

que, dans cette circonstance, le poids de la superficie servant de couverture à la voûte ne peut que contribuer à sa solidité, lorsqu'il se trouve dans un rapport convenable avec les efforts qui tendent à faire renfler les flancs.

La figure 1 de la planche CLXXX indique la projection en plan d'un quart de cette coupole, avec le compartiment que devait former la combinaison des fermes verticales avec les cercles horizontaux.

La figure 2 indique la vue intérieure de ce quart en élévation, avec la lanterne qui devait terminer la coupole.

Les figures 3, 4, 5 et 6, indiquent le plan, les élévations à l'intérieur et à l'extérieur, et le profil des compartimens, d'un élément de la coupole sur une plus grande échelle.

La figure 5 fait voir l'arrangement des tuiles, le lattis en fer qui devait les soutenir, et la combinaison des courbes verticales et horizontales qui devaient former la voûte.

Les courbes ou armatures auraient été composées de parties en fer forgé, ajustées de manière à former la voûte par rangs horizontaux, comprenant en hauteur un caisson carré et un encadrement; en sorte que la pose en place pouvait se faire, sans avoir besoin de charpente montant de fond, mais seulement de quelques échafauds légers, dont le premier auroit porté sur la corniche, et les autres auraient été soutenus par chaque rang inférieur terminé, afin de poser et d'ajuster les pièces de celui au-dessus.

Le motif que je me suis proposé dans la combinaison des parties de ce projet de coupole, a été de former une surface ferme et continue, capable de résister en tout sens aux plus grands efforts qu'elle pût avoir à soutenir, et de lui procurer une solidité et une durée égales à celles du reste

de l'édifice. Ainsi, pour parvenir à donner à cette surface la fermeté et la continuité convenables, je remplissais à l'intérieur les vides des compartimens formés par le croisement des courbes verticales et horizontales, avec des plaques de fer fondu d'environ un demi-pouce d'épaisseur, susceptibles pas leur fermeté de résister à tous les efforts de pression ; ces courbes, étant en fer forgé, dont la propriété est de résister aux efforts de tension, auraient servi à réunir toutes les parties de cette coupole, de manière à former un corps continu, incompressible et indissoluble.

Je me proposais de n'employer, pour les assemblages de toutes les parties de cette coupole, que des ajustemens simples, capables de se prêter sans inconvénient à tous les effets que produisent sur les matières métalliques les différens degrés de température auxquels ils devaient être exposés, et à pouvoir remplacer facilement les pièces que des circonstances extraordinaires auraient pu endommager.

La coupole en fer, exécutée, n'est pas celle qui avait d'abord été proposée par M. Bélanger, avec des vitraux en forme de lucarne tout autour; elle paraît avoir été modifiée en partie d'après le projet que j'ai publié. Cette coupole diffère de celle que j'avais proposée, en ce qu'au lieu d'un compartiment double de caissons avec des encadremens dont je décorais la surface intérieure, on a formé des caissons simples recreusés de l'épaisseur des courbes verticales et des entre-toises qui les relient. Cette combinaison est réunie par un léger grillage en fer forgé, servant à soutenir les feuilles de cuivre très-minces qui forment la couverture.

Toutes les parties de cette coupole, dont j'ai suivi l'exécution comme inspecteur général, ont été faites et ajustées avec des soins et une précision qui méritent les plus grands éloges, d'après les dessins et sous la conduite de M. Bélanger, architecte, et de M. Brunet, contrôleur.

ADDITION A L'ARTICLE VIII, pages 441, 442, etc.

En décrivant dans tous ses détails, à l'article VIII, la construction des chapiers à tiroirs, nous avons observé que, bien qu'ils fussent généralement préférés à cause de l'avantage que présente leur disposition, leur mécanisme était cependant très-défectueux et susceptible de se détériorer facilement. Nous avons donné quelques indications pour en améliorer le système; mais le mouvement des tiroirs sur des roulettes ou poulies a encore, indépendamment des défauts dont nous avons parlé, celui d'occasioner un bruit incommode. Il est vrai qu'on évite ce bruit en substituant des coulisseaux aux roulettes; mais, outre que le frottement exige alors un effort assez considérable, ce dernier moyen ne dispense pas des poteaux mobiles, auxquels il est difficile de procurer toute la fermeté convenable, et qui d'ailleurs sont toujours embarrassans.

Dégoûtés par le service difficile du chapier à tiroirs, MM. les desservans de la cathédrale de Dijon, chargèrent M. Saintpère, architecte de cette ville, d'étudier un mécanisme qui pût leur permettre d'en continuer l'usage. C'est pour remplir ce but qu'il a imaginé le moyen représenté par les différentes figures de la planche CLXI bis, qui

nous paraît fort ingénieux, et qu'il nous semble d'autant plus utile de publier, qu'il peut contribuer à perpétuer l'usage des chapiers à tiroirs, et s'appliquer parfaitement à tous ceux établis d'après la méthode ordinaire.

On a vu précédemment que les tiroirs, formant un demi-cercle, pivotaient sur un axe commun auquel ils étaient assujettis par leur centre. Jusqu'ici on n'avait pas fait attention qu'en donnant à cette ferrure une force convenable, elle était susceptible de recevoir et de maintenir à elle seule le poids et la portée des tiroirs. C'est ce qu'a parfaitement senti M. Saintpère. Pour y parvenir, il a armé le dessous de ses tiroirs d'une ferrure à branches qu'il nomme *pate d'oie*. Ces branches sont renforcées depuis leur extrémité à la circonférence jusqu'au centre où elles se réunissent à une forte douille. C'est par cette douille que les tiroirs s'enfilent à une tige en fer tournée et trempée, solidement maintenue haut et bas, autour de laquelle ils sont suspendus comme un plateau, et tournent avec la plus grande aisance.

Sur la planche que nous en avons dressée d'après le dessin de M. Saintpère, nous avons joint des notes explicatives de tous les détails, mis en mesure sur des échelles proportionnelles.

FIN DU SEPTIÈME LIVRE.

SOMMAIRE

OU

TABLE

Des Objets contenus dans le septième livre du

TRAITÉ DE L'ART DE BATIR.

SECTION PREMIÈRE.

MENUISERIE.

Article premier. Des cloisons en planches, page 2.

Art. II. Des planchers, parquets et portes pleines, page 3.

Art. III. Des croisées, persiennes et jalousies, pages 5 — 9.

Art. IV. Des compartimens de menuiserie, avec panneaux ornés de moulures, page 10.

Art. V. Des portes à panneaux avec moulures; des portes cochères, page 12.

Des portes bâtardes et charretières, page 14.

Des portes à placard, page 16.

Art. VI. Des lambris de menuiserie, page 18.

Art. VII. Des stalles, page 20.

Des appuis et des museaux, page 21.

Moyen géométrique de tracer en plan le contour des museaux, page 22.

Des parcloses, page 23.

Des patins, page 25.

Détail d'une des portes de menuiserie de l'église de Sainte-Geneviève, page 26.

Art. VIII. Des chapiers et autres armoires de sacristie, page 27.

Art. IX. Des porches, page 33.

Art. X. Des buffets d'orgues, page 34.

Art. XI. Des retables d'autels, chaires à prêcher et bancs d'œuvres, page 37.

Des colonnes de menuiserie, *idem*.

Des bases et chapiteaux, page 39.

Des chaires à prêcher, page 41.

Des confessionnaux, page 42.

Art. XII. de l'art du trait, page 43.

Art. XIII. Des surfaces à courbure simple, page 45.

Art. XIV. Du revêtissement des voûtes et des arrière-voussures, page 47.

Embrasemens mixtes et gauches, page 50.

Des calottes, page 52.

Arrière-voussure de Marseille ordinaire, page 53.

Arrière-voussure de Marseille conique, page 57.

Arrière-voussure, dite de Montpellier, page 58.

Arrière-voussure, dite de Saint-Antoine, page 62.

Art. XV. Revêtissement de menuiserie pour les voûtes, page 64.

Des voûtes sphériques et sphéroïdes, page 67.

Art. XVI. Des escaliers en menuiserie, 68.

Des marches en menuiserie, page 70.

Des limons droits et courbes, et noyaux d'escaliers, page 71.

SECTION II.

SERRURERIE.

Article premier. Des qualités des fers, page 77.

Art. II. Expériences sur la force des fers, faites par M. de Buffon, page 83.

Expériences faites par M. Soufflot, page 85.

Autres expériences sur des tringles de 14 pouces de longueur, page 88.

Autres faites par Muschembroch, page 89.

Tables des expériences faites pour déterminer les dimensions relatives de plusieurs espèces de fers et de bois employés en linteaux, page 100.

De la force sous laquelle le fer commence à se refouler, page 105.

De la force des fers posés verticalement, page 106.

De la force des fers inclinés, page 110.

Armature des plates-bandes du portail de l'église de Sainte-Geneviève, page 111.

Des barres posées en linteaux ou en solives, page 114.

Expériences sur des armatures, page 116.

Planchers en fers et briques creuses, page 119.

Combles en fer; voûtes *idem* du Salon d'exposition au Louvre; page 122.

Art. III. Des ponts en fer, page 123.

Pont de Coalbroockdale, page 124.

Pont de Sunderland, page 125.

Pont de Stains, page 127.

Pont des Arts, à Paris, page 129.

Pont du Jardin du Roi, page 130.

Observations sur le rallongement des fers forgés, fondus et autres métaux, depuis le degré de glace jusqu'à celui de l'eau bouillante, page 131.

Description du pont du Jardin du Roi, tel qu'il existe, page 135.

Observations sur les archivoltes et armatures en fers, page 138.

Les voûtes sphériques sont les plus avantageuses pour couvrir un grand espace. Projet d'une coupole en fer, pour couvrir la cour de la Halle-aux-Grains de Paris, page 140.

Addition à l'article VIII, page 27.

Description d'un moyen ingénieux, imaginé par M. Saintpère, architecte à Dijon, pour développer les tiroirs d'un chapier, page 143.

FIN DES SOMMAIRES DU SEPTIÈME LIVRE.

SPECIAL 89-
B3543

V.4

THE GETTY CENTER
LIBRARY